

GALILEO

RIVISTA DI INFORMAZIONE, ATTUALITÀ E CULTURA DEGLI INGEGNERI DI PADOVA

centonovantatré

VENEZIA



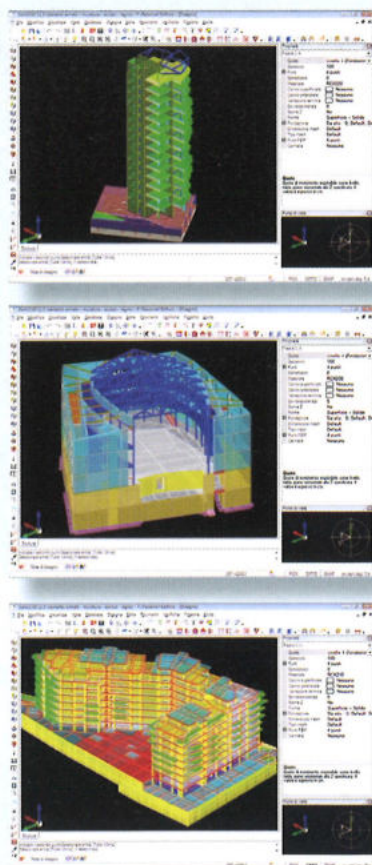
SANTIAGO CALATRAVA E IL QUARTO PONTE SUL CANAL GRANDE





SismiCad 11.

Per uscire dal labirinto del calcolo strutturale.



SismiCad 11, frutto ormai di vent'anni di esperienza con i professionisti del settore, è l'evoluzione di un affermato prodotto per il calcolo di strutture in cemento armato, murature, acciaio e legno. La sua potenza di calcolo, il solido solutore ad elementi finiti, le prestazioni di altissimo livello e l'estrema facilità di input, anche in AutoCAD LT® lo rendono un prodotto di riferimento continuamente aggiornato. Dotato, tra il resto, di funzioni al top come le verifiche secondo le **Norme Tecniche per le Costruzioni 2008**, gli indicatori di rischio sismico, l'analisi pushover con modellazione a fibre anche per le murature, ti sorprenderà per la capacità di portarti in brevissimo tempo verso un risultato, sia per strutture semplici che per le più complesse. Disegni esecutivi delle armature, relazione di calcolo e computo delle quantità, in pochi affidabili passi. Il tutto integrato in **un unico pacchetto che certamente può aiutarti ad uscire dal labirinto del calcolo strutturale.**

Saremo presenti a:

SAIE, Bologna
28-31 ottobre '09

Expo Edilizia, Roma
12-15 novembre '09



SismiCadUndici
L'evoluzione.

Con importazioni da:

Revit® GRAPHISOFT
ARCHICAD 12
a Virtual Building Solution
ARCHline® XP NEMETSCHEK
Allplan

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 - Padova - Tel 049 87 54 720 - Fax 049 87 55 234

Download demo gratuito

www.concrete.it - commercial@concrete.it





Venezia.



Progetto Rialto.



Intervento dimostrativo del Progetto Rialto.
Nel cerchio rosso si evidenzia l'entità del sollevamento ancora in progress

Progetto Rialto.

Sollevare dall'acqua, risanare e recuperare il valore immobiliare della tua casa.

Alzare le case a Venezia è un tema che ha percorso l'immaginario dei suoi abitanti fin dalla prima volta che le acque della laguna lambirono i piani terra delle abitazioni.

Il Progetto Rialto **solleva gli edifici** oltre il limite dell'acqua alta.

Soles e Mattioli hanno ottenuto questo risultato studiando e brevettando un metodo che impiega procedure collaudate e particolari sistemi idraulici.

Il Progetto Rialto, recuperando i piani terra e preservandoli definitivamente dall'aggressione delle acque, ottiene un deciso incremento del loro valore immobiliare.

Consulenza Scientifica dell'Università IUAV di Venezia.
Convenzione del 14 agosto 2009.

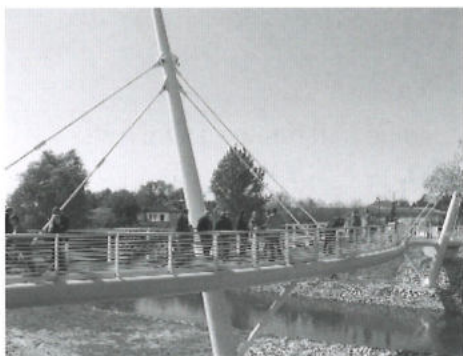


Ufficio di rappresentanza :
Piazza Ungheria, 6/3 - 00198 Roma Tel. 06 85304891

www.progettorialto.com

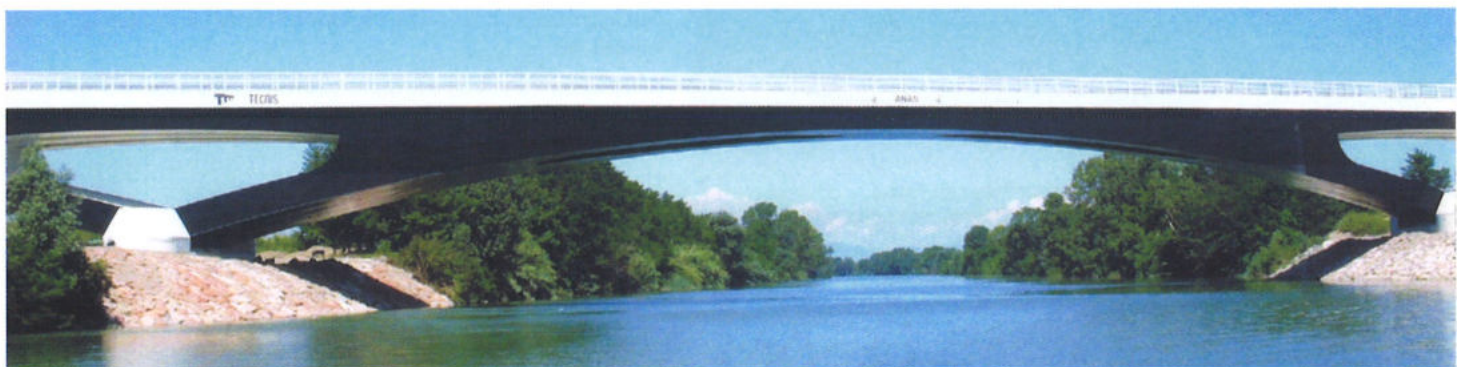
ENZO SIVIERO E IL PONTE

1999-2009, un percorso decennale per molti aspetti atipico dove il trinomio Ricerca, Didattica e Professione si è esplicato attraverso opere, progetti e studi professionali e accademici. Dalla cornice di Villa Pisani di Stra la mostra si è andata via via sviluppando, toccando un grande numero di sedi, per approdare oggi a Padova con il titolo **Ponteggiando – Bridging**.



Le sedi dell'esposizione dal 1999 a oggi

Venezia, Villa Pisani di Stra, novembre 1999
 Verona, Fiera di Verona, Infravia, maggio 2000
 Aversa, II Università degli Studi di Napoli, Facoltà di Architettura, giugno-luglio 2000
 Palermo, Università degli Studi, Facoltà di Ingegneria, luglio 2000
 Siracusa, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Architettura, settembre-ottobre 2000
 Cosenza, Università della Calabria, Facoltà di Ingegneria, ottobre 2000
 Salerno, Università degli Studi, Facoltà di Ingegneria, novembre 2000
 Roma, Università «La Sapienza», Facoltà di Architettura, dicembre 2000
 Bari, Politecnico, Facoltà di Architettura e Ingegneria, novembre 2001
 Roma, Università «Tor Vergata», Facoltà di Ingegneria, dicembre 2001
 Trieste, Università degli Studi, Facoltà di Architettura, aprile 2002
 Ancona, IDAU Istituto di Disegno, Architettura e Urbanistica, maggio 2002
 Firenze, Università degli Studi, Facoltà di Ingegneria, giugno 2002
 Cesena, Università di Bologna, Facoltà di Architettura, gennaio 2003
 Brno, Repubblica Ceca, International Symposium Bridges 2003, aprile 2003
 Pecs, Ungheria, Università, Dipartimento di Ingegneria Civile, maggio 2003
 Torino, Politecnico, Facoltà di Architettura, novembre 2003
 Braunschweig, Germania, iBMB der Technische Universität, dicembre 2003
 Taormina, Nuovi orientamenti per la progettazione di ponti e viadotti, febbraio-marzo 2004
 Guayaquil, Ecuador, Facoltà di Ingegneria, marzo-aprile 2004
 Losanna, Svizzera, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, aprile-maggio 2004
 Praga, Repubblica Ceca, Facoltà di Architettura, maggio 2004
 Udine, Università degli Studi, Polo Facoltà Scientifiche, giugno-luglio 2004
 Friburgo, Svizzera, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, gennaio 2005
 Genova, Università degli Studi, Facoltà di Ingegneria, marzo 2005
 Lecco, Politecnico di Milano – Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, aprile 2005
 L'Aquila, Università degli Studi, Facoltà di Ingegneria, ottobre 2005
 Fuzhou, Cina, Fuzhou University, Department of Civil Engineering, ottobre 2005
 Pescara, Università degli Studi, Facoltà di Architettura, novembre 2005
 Pescara, Sede Municipale, marzo 2006
 Salonicco, Grecia, Aristotle University, aprile 2006
 Trento, Sede Provincia di Trento, con Ordine Ingegneri e Università degli Studi, marzo 2007
 Torino, Infrastructura, Biennale Internazionale delle Infrastrutture, novembre 2007
 Delft, Olanda, University of Technology, Faculty of Architecture, marzo 2008
 Shanghai, Cina, Tongji University, aprile 2008
 Brescia, Università degli Studi, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente, marzo 2009



Ponteggiando *B r i d g i n g*

Padova 30 ottobre - 31 dicembre 2009
Centro Altinate San Gaetano, Padova

Il 30 ottobre 2009, al Centro Culturale Altinate - S. Gaetano di Padova, si aprirà la mostra Ponteggiando - Bridging, dedicata ai progetti proposti, realizzati e condotti in sede universitaria dal prof. Enzo Siviero. La rassegna, promossa dall'Assessorato alla Cultura del Comune di Padova, e curata dall'arch. Guglielmo Monti, sarà preceduta da un'introduzione sulla figura del progettista e sulla sua azione nel campo della pubblicistica, della didattica e della convegnistica. La parte più cospicua della produzione progettuale, costituita dai ponti carrabili e pedonali, sarà suddivisa per tipi strutturali e indagata soprattutto sui suoi rapporti con il paesaggio. Sullo stesso tema saranno presentate anche le opere dello studio Progeest, diretto da Siviero, su altri soggetti edilizi, raggruppati nelle tre categorie di restauro, allestimento e paesaggio. Alla mostra sarà presente la proposta di restauro urbano di Corso Milano a Padova avanzata dall'arch. Guglielmo Monti.

La conferenza stampa di presentazione è prevista per il 30 settembre 2009 presso la sede dell'Ordine degli Ingegneri di Padova.

Programma preliminare

30 ottobre ore 18.30
Apertura della mostra

Interverranno

■ **Fabio Bonfà**

Presidente dell'Ordine degli Ingegneri di Padova

■ **Gianluigi Burlini**

Presidente del Collegio degli Ingegneri di Padova

■ **Ivo Rossi**

Vicesindaco di Padova

■ **Andrea Colasio**

Assessore alla cultura

■ **Oddone Longo**

Presidente dell'Accademia Galileiana

■ **Marco Eugenio Di Giandomenico**

Presidente del Consorzio Wylford

■ **Guglielmo Monti**

Curatore della mostra

31 ottobre ore 9.30

Vent'anni della rivista *Galileo*

Presentazione del numero monografico «**Il ponte e i suoi miti**»

Tavola rotonda coordinata da **Marco Eugenio Di Giandomenico**
e **Guglielmo Monti**

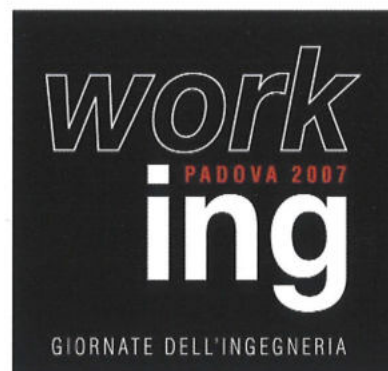
10 dicembre ore 9.30

Bridgetaly

Quarta edizione della manifestazione dedicata
a giovani progettisti italiani

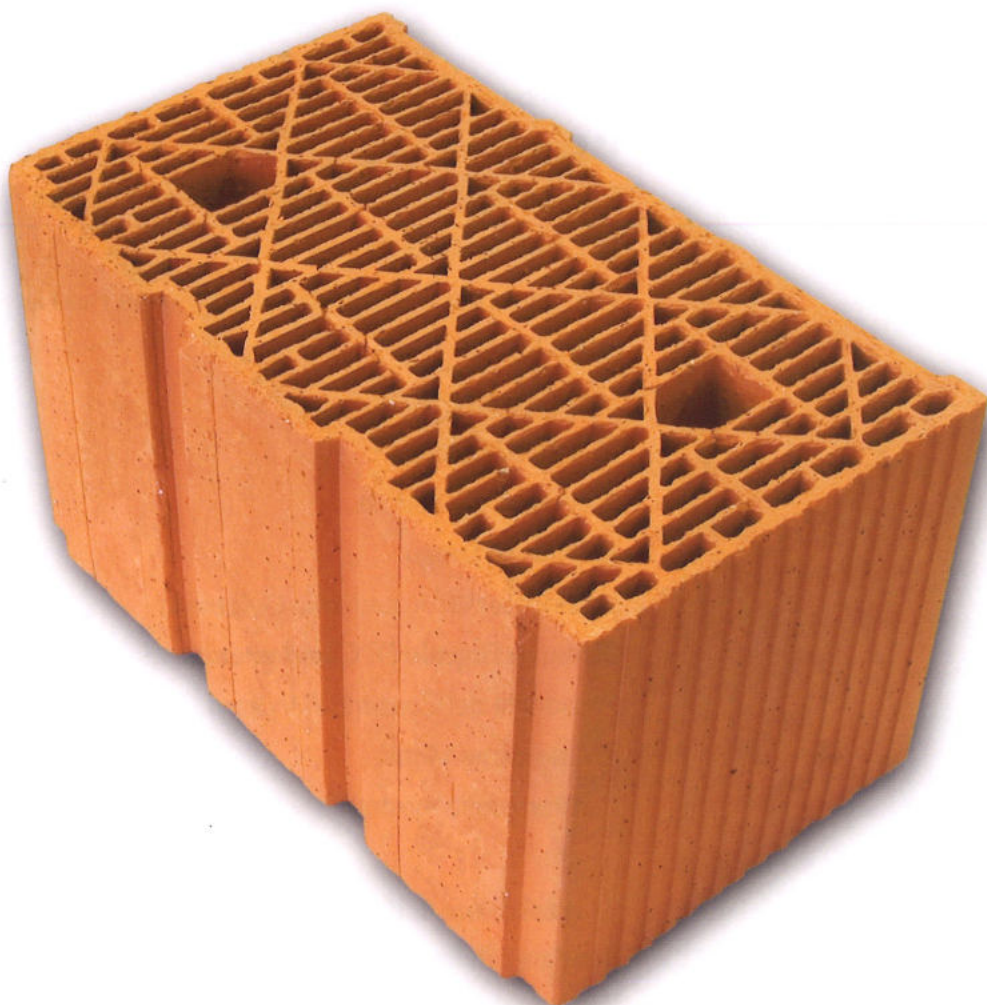
Bridging: un ponte tra ingegneria e architettura

Enzo Siviero, conferenza di chiusura della mostra



FORNACI **Zanrosso**

NUOVA GEOMETRIA = ECONOMIA + ECOLOGIA



$U=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

ECO PLAN PLUS
RETTIFICATO

38 $U= 0,279$

42 $U= 0,266$

45 $U= 0,241$

APT PLUS
MALTA TRADIZIONALE

38 $U= 0,297$

42 $U= 0,283$

45 $U= 0,258$

APT PLUS
MALTA TERMICA

38 $U= 0,279$

42 $U= 0,266$

45 $U= 0,241$

NOTA: POSTI IN OPERA CON TERMINTONACO

INERZIA TERMICA (S) 38 $S=21,11$ 42 $S=22,90$ 45 $S=25,14$

IL NOSTRO UFFICIO TECNICO É A DISPOSIZIONE PER ULTERIORI INFORMAZIONI

FORNACI ZANROSSO SRL - VIA VISAN 38 - 36030 S.TOMIO DI MALO (VI)

TEL. 0445 588019 - FAX 0445 588018

E-MAIL: INFO@ZANROSSO.COM - WEB: WWW.ZANROSSO.COM



Anno XXI
n. 193
Settembre 2009

Editore Collegio degli Ingegneri della Provincia di Padova, piazza G. Salvemini 2, 35131 Padova, tel-fax 0498756160, www.collegioingegneripadova.it, segreteria@collegioingegneripadova.it • **Direttore responsabile** Enzo Siviero, enzo.siviero@progeest.com • **Codirettore** Pasqualino Boschetto, pasqualino.boschetto@fastwebnet.it • **Comitato di gestione** Pierantonio Barizza, Fabio Bonfà, Gian Luigi Burlini, Enzo Siviero • **Comitato di redazione** Paolo Caporello, Stefano Casarotti-Todeschini, Guido Cassella, Paolo Foletto, Giuliano Marella, Paolo Monteforte, Sara Orio, Lidia Pelli, Giorgio Romaro, Michele Sanfilippo, Giorgio Simioni, Francesco Spolaore, Filippo Squarcina, Pierangelo Valerio • **Impaginazione, redazione** Queen's Srl, via Zabarella 58, 35121 Padova, tel/fax 0498759328, 3296381227, redazione@galileo.191.it • **Pubbliche relazioni** Giorgia Roviaro, tel/fax 0498070956, g.roviaro@virgilio.it • **Stampa** La Photograph, via L. da Zara 8, 35020 Albignasego, Pd, telefono 0498625690, fax 0498625691 • **Autorizzazione Tribunale di Padova** n. 1118 del 15 marzo 1989 • **Spedizione in abbonamento postale** 45%, art. 2, comma 20/b, legge 662/96, Filiale di Padova • **ISSN** 1122-9160 • **Avvertenze** La Direzione non si assume alcuna responsabilità per eventuali danni causati da informazioni errate. Gli articoli firmati esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano in alcun modo né l'editore né la redazione • **Tutela della privacy** Qualora siano allegati alla rivista, o in essa contenuti, questionari oppure cartoline commerciali, si rende noto che i dati trasmessi verranno impiegati a scopo di indagine di mercato e di contatto commerciale, ex D.L. 123/97. Si informano gli abbonati che il loro indirizzo potrà essere impiegato anche per l'inoltro di altre riviste o di proposte commerciali. È diritto dell'interessato richiedere la cancellazione o la rettifica, ai sensi della L. 675/96. **Norme generali e informazioni per gli autori** *Galileo* pubblica articoli di ingegneria, architettura, legislazione e normativa tecnica, attualità, redazionali promozionali. Viene inviato gratuitamente agli iscritti all'Ordine e al Collegio degli Ingegneri della provincia di Padova, nonché a persone, enti e istituzioni selezionati su tutto il territorio nazionale. Iscrizione annuale al Collegio, aperta anche ai non ingegneri: 30 Euro da versare sul c/c 473045, Banca di Credito Cooperativo di Sant'Elena, Agenzia di Padova, IBAN IT59J0884312100 000000473045. Gli articoli vanno inviati a: redazione@galileo.191.it. L'approvazione per la stampa spetta al Direttore che si riserva la facoltà di modificare il testo nella forma per uniformarlo alle caratteristiche e agli scopi della Rivista dandone informazione all'Autore. La proprietà letteraria e la responsabilità sono dell'Autore. Gli articoli accettati sono pubblicati gratuitamente purché non superino i cinquemila caratteri e le cinque illustrazioni. Per testi superiori viene richiesto un contributo spese da valutare volta per volta. I testi vanno forniti in formato elettronico WORD (.doc) non impaginato. Le immagini in formato digitale JPEG (.jpg) vanno fornite in file singoli separati dal testo: definizione 300 dpi e base max 21 cm. Bibliografia e note vanno riportate con numerazione progressiva seguendo l'ordine di citazione. Un breve curriculum professionale dell'autore (circa 60 parole) può essere inserito alla fine dell'articolo e comparirà nella stampa. Le bozze di stampa vanno restituite entro tre giorni dall'invio. Gli Autori possono ritirare gratuitamente tre copie della rivista presso il Collegio degli Ingegneri, ulteriori copie (2,50 Euro a copia) possono essere richieste alla Segreteria del Collegio degli Ingegneri, tel e fax 049 8756160, e-mail: segreteria@collegioingegneripadova.it.

SANTIAGO CALATRAVA E IL QUARTO PONTE SUL CANAL GRANDE A VENEZIA

Calatrava a Venezia

Unicità di un caso studio

Enzo Siviero

8

Venezia. Quarto Ponte sul Canal Grande

Franco Pianon

11

Il quarto ponte sul Canal Grande e l'assetto urbano della Venezia nuova

Tullio Campostrini

12

Il nuovo ponte per una Venezia al passo con i tempi, come sempre nei secoli della sua storia

Roberto Scibilia

20

Storia del progetto

25

Completamento e montaggio del quarto ponte sul Canal Grande

Giorgio Romaro

26

Sul montaggio del quarto ponte sul Canal Grande

Bruno Briseghella, Tobia Zordan

36

Prove di carico su strutture complesse

Il caso del quarto ponte sul Canal Grande

Alessandro Turella, Loris Turella

42



Calatrava a Venezia

Unicità di un caso studio

Enzo Siviero

santiago calatrava • quarto ponte sul canal grande

Con questo numero speciale dedicato al ponte veneziano di Calatrava, *Galileo* intende fornire ai propri lettori una chiave di lettura non strumentale su quest'opera d'arte lasciando la parola ad alcuni dei principali attori convenuti al Seminario sul tema organizzato dal Collegio degli Ingegneri di Venezia nel maggio 2008.

L'intento è quello di aprire un dibattito sul rapporto tra architetti, ingegneri e costruttori, sul ruolo del committente, sui limiti di una legislazione per molti aspetti inadeguata, sull'insegnamento che si può trarre da questa esperienza e su ciò che tutti possiamo fare per evitare in futuro il ripetersi di tali criticità.

Un forum di discussione senza pregiudizi né animosità preconcepite.

Anche per questo è nato *Galileo* che, nel compiere vent'anni, ha superato la maggiore età e si avvia velocemente al numero 200 con un percorso, analogamente a quello del quarto ponte, a volte travagliato e difficile, ma che non ci ha impedito di «tenere salda la rotta».

Un bel traguardo di cui tutti noi siamo orgogliosi.

Quando nel 1996, assieme al collega Umberto Trame e con il contributo entusiastico dell'Amministrazione Comunale di Padova (allora, come oggi, sindaco Flavio Zanonato), organizzammo la mostra antologica a livello mondiale delle opere e dei progetti di Santiago Calatrava nella cornice del Palazzo della Ragione, l'iter progettuale del quarto ponte sul Canal Grande era già iniziato. Plastici, *rendering* e primi disegni erano già stati esposti un anno prima nella piccola mostra promossa dall'IUAV presso la Fondazione Masieri, da cui prese spunto la bella monografia di Sergio Polano conclusasi in occasione della mostra padovana.

Figura controversa nel panorama internazionale, tanto amato quanto odiato (ma a onor del vero forse più *invidiato*), Santiago Calatrava rappresenta un *unicum* nella storia dell'architettura e dell'ingegneria mondiale contemporanea; io stesso alludo spesso nei miei interventi all'architettura BC e AC (*before Calatrava* e *after Calatrava*).

Si può discutere a lungo (e spesso in modo tanto acceso quanto, oserei dire, viscerale) sul ruolo di Calatrava nel quadro della triade ricerca-didattica-professione e sul fatto che le sue opere sembrano concepite più per stupire ed emozionare che per *funzionare* e, aggiungo io, *durare* in modo proporzionale ai costi sostenuti dal committente; ma non è questo il punto. Nel nostro mondo che investe frazioni significative del PIL in comunicazione (vedi i tanti corsi di laurea in Scienze della Comunicazione), dove nell'ambito dello spettacolo e dello sport i compensi si misurano in più di sei zeri e le sponsorizzazioni sono ormai stratosferiche, non può sfuggire che opere di architettura e di ingegneria capaci di trasmettere messaggi mediatici universalmente riconosciuti possano trovare ampia motivazione nel vasto pubblico *consumatore* o, meglio, ormai *divoratore* dell'effimero. Dobbiamo riconoscere che le «sculture a scala urbana» di Calatrava (e in verità di pochissime altre *archistar*) *restano* nei luoghi, li qualificano, costituiscono attrattive forti quanto e forse più delle opere d'arte confinate nei musei. La sala di esposizione museale è per questi *oggetti d'arte* proprio l'ambito urbano, cosicché i visitatori si moltiplicano per mille: tutti fruitori diretti e indiretti (e il quarto ponte veneziano ne conta ormai decine di migliaia al giorno).

Questo è il contesto geopolitico e socioeconomico nel quale vanno collocate le opere di Calatrava. Ora la domanda cruciale è: a quale prezzo tutto ciò? La risposta è evidente: a un prezzo adeguato al *mercato dell'arte* e non certo ai *servizi di ingegneria e architettura* previsti dalla «Merloni» e ormai, nel disinteresse generalizzato, sottopagati a causa di una *liberalizzazione* delle tariffe professionali quanto mai inopportuna e demagogica e i cui riflessi risultano negativi per le Amministrazioni stesse.

Del resto in tutto il mondo è ampiamente risaputo e accettato che le opere di Calatrava sono costosissime e che non possono essere gestite con procedure ordinarie (forse che si compra al chilo una statua o a metro quadro un dipinto?). Ne consegue un (inconscio o voluto) tacito accordo tra il committente e l'artista: dichiarare a costo uno ciò che, realisticamente, finirà per costare due o tre. Un accordo che sembra andare bene a tutti (vedi i costi raddoppiati per i tre straordinari ponti di Reggio Emilia) perché se si dichiarasse il costo verosimile forse l'opera non verrebbe realizzata (trattandosi quasi sempre di committente pubblico, la questione ha, tra l'altro, implicazioni etiche e politiche di notevole rilevanza). A opera iniziata è giocoforza quindi provvedere con artifici, forzature e *notevoli sofferenze* a finanziare il completamento, tra inevitabili polemiche (vedasi il mancato completamento degli impianti sportivi di Roma Tor Vergata progettati da Calatrava per i mondiali di nuoto e ora fermi in attesa di rifinanziamento) e risvolti ipocritamente *pila-teschi* per i quali la responsabilità è sempre da cercare altrove ...

Personalmente ritengo che il ponte veneziano sia una delle opere più belle realizzate da Calatrava, pur con i limiti prestazionali che ogni ingegnere è capace di rilevare per le sue indiscutibili anomalie (spinte orizzontali eccessive, deformabilità trasversale inusuale ecc.). Penso addirittura che a conti fatti, nonostante 5 perizie di variante, 77 nuovi prezzi, l'indagine della Corte dei Conti, i rilievi dell'Autorità di Vigilanza per i LLPP e un pesante contenzioso in atto tra l'Appaltatore e l'Amministrazione comunale che si risolverà con la tempistica usuale della nostra magistratura ordinaria, sia costato meno di quello che avrebbe dovuto o potuto. I tre anni di ritardo per il completamento sono anch'essi da imputare a procedure farraginose decisamente inadatte al caso in esame per il quale (vedi peraltro la ricostruzione della Fenice) sarebbe stato necessario nominare un commissario *ad acta* con poteri straordinari.

Riguardo ai rapporti con l'Amministrazione veneziana, diversamente da quel che si dice, Calatrava non ha *regalato il progetto*, bensì ha consegnato al Comune uno studio iniziale (plastici, rendering, qualche elaborato grafico e un *preventivo di spesa sommario* con palese sottovalutazione dei costi) nel quale tuttavia, sia chiaro, la concezione progettuale era già pienamente definita. Il progetto preliminare ufficiale non porta la firma di Santiago Calatrava bensì del responsabile dell'Ufficio tecnico comunale (c'è da chiedersi se non si configuri qualche problema di deontologia professionale circa l'attribuzione indebita della paternità progettuale tutta già contenuta nell'idea iniziale. Di questo il legislatore italiano sembra non accorgersi allorché accetta che il progetto sia firmato da un soggetto diverso dal vero progettista che ufficialmente fornisce solo il *supporto alla progettazione*). Va detto che per assegnare l'incarico del progetto definitivo ed esecutivo il Comune di Venezia è ricorso, per non eludere la norma, a una gara alla quale hanno *sportivamente* partecipato una decina di studi. Gara regolarmente e meritatamente vinta dallo stesso Calatrava.

Oggi, a opera finita, il cittadino comune, il fruitore, ha dimenticato le polemiche, le fatiche, i costi, le problematiche esecutive, gestionali, di monitoraggio e manutenzione nel tempo e nel quarto ponte vede un'opera utile e bella. Può bastare? La risposta è negativa. Credo che, completato il ponte, sia ormai improcrastinabile porre mano all'adeguamento di piazzale Roma che da troppi anni è più una *porta di servizio* che l'accesso adeguato a una città che tutto il mondo sogna.

E cosa dire della tangenziale di Mestre, degli impianti chimici e della zona industriale di Marghera? E ancora degli orrori del cavalcavia di Mestre, cui fa eco il recente viadotto di fronte a Vega? Si spera che a San Giuliano, in adiacenza a un parco di notevole interesse e a una bella passerella strallata, venga realizzata a breve un'opera all'altezza delle migliori aspettative (ma con i tempi che corrono è lecito dubitare).

Ci consoli la vista dei trecento archi del ponte translagunare: quattro chilometri realizzati in soli 21 mesi tra il 1930 e il 1931 dal *dipendente* comunale ingegner Eugenio Miozzi. In questo possente quanto *placido* ponte l'ingegno tecnico si fa arte per mostrare come l'architettura possa germinare dall'ingegneria più colta per tramite di coloro che spesso sono i *dimenticati*: quei costruttori di opere che solo per loro natura sono passate alla storia e le loro maestranze che tanto impegno hanno profuso per dimostrare che l'arte del costruire è altrettanto, se non più importante, dell'arte del progettare. •

I Ponti di Eugenio Miozzi

*Quattro¹ sono i ponti in Canal Grande;
Per il più vecchio, il Ponte di Rialto
han lavorato Vignola, Palladio,
Fra Giocondo, Da Ponte, Scarpagnino,
Buonarroti, Scamozzi, Sansovino.
Gli altri tre, di fatture più recenti,
ma senza impiego di cemento armato,
raggiungono arditezze imponenti
che il Poeta Valeri¹ ha esaltato.
Son io che li ho pensati e disegnati,
ho calcolato gli equilibri, i pesi,
gli spazi occlusi e quelli liberati,
gli oneri, i vantaggi, e i soldi spesi.*

*Quando, a suo tempo lo vorranno i fati
che di mia vita sian spente le fonti,
molti di quelli che oggi non son nati
risaliranno ancora questi ponti.
E chissà che ai nomi del passato,
accanto a Fra Giocondo ed a Scamozzi
non si ricordi anche il mio casato,
il nome del fu Ingegner Miozzi.
Ma oltre a questi ponti in Canal Grande
ne ho fatti ancora, e tutti con fortuna.
Il Ponte della Vittoria a Belluno,
il ponte dei Tre Ponti a Cima Gogna,
il Ponte Druso attraverso Bolzano;
trecento Volte ha il ponte lagunare;
sono undici i Ponti di Rio Novo;
sono trenta sul Piave, sull'Ansiei,
sull'Adige ed affluenti suoi;
anche in Africa, a Tripoli e Bengasi,
ho eretto ponti sessanta anni fa.*

*Ma un altro Ponte debbo far ancora
che di tutti sarà il più tremendo,
Il Ponte che mi porterà di là
dove tutto è mistero, spazio, tempo,
passato futuro, donde nessuno
è mai tornato a dirci cosa c'è.
Nelle mani di Dio mi affiderò
benedicendo sempre il mio Signore
con la Fede che la mamma m'insegnò
e che risorge nei giorni del dolore.
Ed ora novantenne e rassegnato
attendo il destino che colpirà
la vita terrena; ma ho pensato
ad un ricordo senza vanità
pei cari amici che hanno circondato
con affetto la mia senilità.*

*Questo ricordo eccolo qua,
è l'elenco dei ponti che ho elevato
a beneficio della mia città.*

Venezia, 20 Giugno 1978

1. Presumibilmente Miozzi pensava imminente la realizzazione di un «quarto ponte» tra le fondamenta S. Lucia e il Giardino Papadopoli, quindi in posizione ortogonale rispetto a quella del ponte realizzato oggi da Calatrava [NdR].
2. Diego Valeri nella *Guida sentimentale di Venezia* così scrive: *Il Ponte giovanissimo Degli Scalzi, un esile sopracciglio inarcato a candida meraviglia...*

Bortolami News

Presenta i nuovi plotter

HP Designjet T610



111,8 cm
61 cm

TECNOLOGIA DI STAMPA

Stampa a getto termico d' inchiostro HP

NUMERO DI INCHIOSTRI

Ciano, grigio, magenta, nero opaco, nero fotografico, giallo

QUALITÀ DI STAMPA

Fino a 2.400 x 1.200 dpi ottimizzati

VELOCITÀ DI STAMPA

Disegno al tratto a colori A1 : 35 s
Immagini colori: 34 m²/ora

GESTIONE DEI SUPPORTI DI STAMPA

Alimentazione a foglio, alimentazione a rotolo, taglierina automatica

MEMORIA

128 mb non espandibili

LINGUAGGI DI STAMPA

HP-GL/2, HP-RTL, CALS/G4, HP PCL 3-GUI

INTERFACCIA E CONNETTIVITÀ

Standard : 1 porta USB 2.0, Opzionale: server di stampa jetdirect

Sistemi operativi compatibili

Windows® 2000, Windows® XP Home, Windows® XP Professional, Windows® XP Professional x64, Windows® Server 2003, Windows Vista™ Ready; Novell® NetWare 5.x, 6.x; Mac OS X v 10.2 o superiore; Citrix® MetaFrame

GARANZIA

Garanzia di un anno, intervento sul luogo di installazione entro il giorno lavorativo successivo alla richiesta di intervento.

CONTRIBUTO ROTTAMAZIONE

FINO A

€ 500,00*

HP Designjet T1120



111,8 cm
61 cm

TECNOLOGIA DI STAMPA

Stampa a getto termico d' inchiostro HP

NUMERO DI INCHIOSTRI

Ciano, grigio, magenta, nero opaco, nero fotografico, giallo

QUALITÀ DI STAMPA

Fino a 2.400 x 1.200 dpi ottimizzati

VELOCITÀ DI STAMPA

Disegno al tratto a colori A1 : 35 s
Immagini colori: 34 m²/ora

GESTIONE DEI SUPPORTI DI STAMPA

Alimentazione a foglio, alimentazione a rotolo, taglierina automatica

MEMORIA

384/320 mb non espandibili / Disco Rigido 80 GB

LINGUAGGI DI STAMPA

HP-GL/2, HP-RTL, CALS/G4, HP PCL 3-GUI, Adobe® PostScript® e Adobe® PDF 1.6 (solo modello Ps)

INTERFACCIA E CONNETTIVITÀ

Standard : 1 porta USB 2.0, Ethernet BT 10/100/1000

Sistemi operativi compatibili

Windows® 2000, Windows® XP Home, Windows® XP Professional, Windows® XP Professional x64, Windows® Server 2003, Windows Vista™ Ready; Novell® NetWare 5.x, 6.x; Mac OS X v 10.2 o superiore; Citrix® MetaFrame

GARANZIA

Garanzia di due anni, intervento sul luogo di installazione entro il giorno lavorativo successivo alla richiesta di intervento.

CONTRIBUTO ROTTAMAZIONE

FINO A

€ 1.000,00*

HP Designjet 510



107 cm
61 cm

TECNOLOGIA DI STAMPA

Stampa a getto termico d' inchiostro HP

QUALITÀ DI STAMPA

Fino a 2.400 x 1200 dpi

MEMORIA

160 mb, espandibile a 416 mb

INTERFACCIA E CONNETTIVITÀ

Standard : 1 porta USB 2.0, 1 porta Parallela Centronics ; Opzionale: server di stampa jetdirect

GARANZIA

Garanzia di un anno, intervento sul luogo di installazione entro il giorno lavorativo successivo alla richiesta di intervento.

HP Designjet 110plus r



61 cm

TECNOLOGIA DI STAMPA

Stampa a getto termico d' inchiostro HP

QUALITÀ DI STAMPA

Fino a 1.200 x 600 dpi

MEMORIA

64 mb

INTERFACCIA E CONNETTIVITÀ

Standard : 1 porta USB 2.0, 1 porta Parallela Centronics ;

GESTIONE DEI SUPPORTI DI STAMPA

Alimentazione da cassetto, alimentazione a rotolo, taglierina automatica

GARANZIA

Garanzia di un anno, intervento sul luogo di installazione entro il giorno lavorativo successivo alla richiesta di intervento.

* Programma Trade in plotter valido fino al 31.10.2009

B BORTOLAMI
UFFICIO

Piazzale stazione 7 – 35131 PADOVA
Tel. 049.651528 – 04.98758635 Fax 049.8762275
E-mail: info@bortolamiufficio.it
Web: www.bortolamiufficio.it

Preferred Partner



Venezia Quarto Ponte sul Canal Grande

Franco Pianon

**Presidente del Collegio degli Ingegneri
della Provincia di Venezia**

**Introduzione al Seminario sul
quarto ponte sul Canal Grande
a Venezia organizzato dal Col-
legio degli Ingegneri di Venezia
il 15 maggio 2008.**

Quel che unisce Venezia alla terraferma è il ponte della Libertà, quel che divide la terraferma da Venezia è piazzale Roma. Questo è sempre stato un po' il sentimento comune dei veneziani nei confronti di un'area mai progettata nell'interezza delle sue reali potenzialità. Ci riferiamo, appunto, a piazzale Roma, l'area incompiuta attraverso la quale si entra in una dimensione in cui la temporalità ha un diverso valore. Il quarto ponte sul Canal Grande, quello progettato da Santiago Calatrava – che è oggi oggetto delle nostre analisi e riflessioni – sarà di fatto il primo che una gran parte delle persone che arriveranno a Venezia saluteranno, quello da cui inizierà il loro percorso nella nostra città.

Perché il Collegio degli Ingegneri della Provincia di Venezia ha voluto questo incontro? Lungi da noi il riproporre polemiche o ripercorrere le oggettive e innegabili difficoltà incontrate nel corso della sua costruzione. Vorremmo, invece, cercare di far chiarezza sul contesto nel quale il manufatto si inserisce, tappa fondamentale prima di intraprendere ogni disquisizione sulla sua utilità. Dunque, fatta salva la legittimità di alcune osservazioni sulla gerarchia interna alle priorità degli investimenti della Pubblica Amministrazione, stasera vorremmo riuscire a mettere a fuoco quel che ancora ad occhio nudo non si vede. Vorremmo, cioè, ascoltare le numerose promesse di Venezia e capire se la città con il nostro aiuto riuscirà a mantenerle. Dobbiamo davvero prendere atto del fatto che l'analisi dell'esistente non è più sufficiente nemmeno per realtà urbane uniche al mondo come Venezia. La tutela e la salvaguardia passano necessariamente attraverso una sorta di interrogazione al futuro. Si può, si deve!, conservare integro il nostro patrimonio artistico e architettonico, ma ciò non significhi mummificare la città, che non è una teoria di facciate di palazzi sul Canal Grande, come ha scritto Pasternak, ma un organismo vitale che va nutrito e tenuto in attività. Nulla, infatti, è più pericoloso del non vivere per paura di morire.

In tale ottica va inserita anche la problematica della coerenza: è stato detto, scritto e pontificato sulla presunta incoerenza architettonica del ponte di Calatrava: ma l'abbiamo mai guardata bene Venezia? Con sguardo vigile e non trasognato come molta letteratura – per la verità non la migliore – vorrebbe? Venezia è un coacervo di stili, sovrapposizioni ed intersezioni che testimoniano il disegno di tutte le epoche, di tutti i secoli, tranne uno. L'ultimo! Perché questo timore? Inutile piangere sulle occasioni perdute, credo che Wright, Le Corbusier e Kahn, solo per fare alcuni nomi, non rappresentino soltanto occasioni perse, ma vera e propria censura nei confronti dell'arte contemporanea. In nome di cosa? Di una coerenza che non è e mai sarà nello spirito di una città che è stata per secoli la porta d'Oriente, che rappresenta l'accesso al Mediterraneo turistico per gran parte dell'Europa del Nord. Non è amore per Venezia questo, non lo è mai stato se andiamo dentro alla città a vedere quali altri scempi sono stati compiuti «coerentemente».

Comunque non siamo qui per assolvere o condannare Calatrava, ma – ripeto – per capire. A cominciare dagli elementi e i materiali utilizzati per finire con la progettazione di nuovi contesti funzionali ai nuovi ruoli che Venezia potrà assumere. Per quanto riguarda i primi, dobbiamo considerare il fatto che la luce in una città d'acqua come Venezia è di per sé architettura e lo spirito con cui Calatrava ha coniugato luce, pietra d'Istria, vetro fa pensare a una sua particolare attenzione nei confronti dell'arte. Viene da pensare, facendo un salto questa volta sì di contesto, alle ultime splendide opere di Emilio Vedova nelle quali egli riproduce e addirittura utilizza la materia attinta dalla sua amatissima laguna.

Calatrava ha scritto che un ponte abilita le due sponde, bene, apro quindi volentieri i lavori e lascio la parola ai nostri interlocutori nella speranza che queste sponde si chiamino passato e futuro e che questo «ponte nel tempo», prima ancora di trovare un nome, cosa che sembra preoccupare più di ogni altra, sia un'opportunità per i veneziani, per Venezia e per quanti per qualsiasi motivo avranno il privilegio di camminare sulle sue pietre. •

Il quarto ponte sul Canal Grande e l'assetto urbano della Venezia nuova

Tullio Campostrini
Collegio degli Ingegneri
della Provincia di Venezia

Relazione tenuta al Seminario sul quarto ponte sul Canal Grande a Venezia organizzato dal Collegio degli Ingegneri di Venezia il 15 maggio 2008.

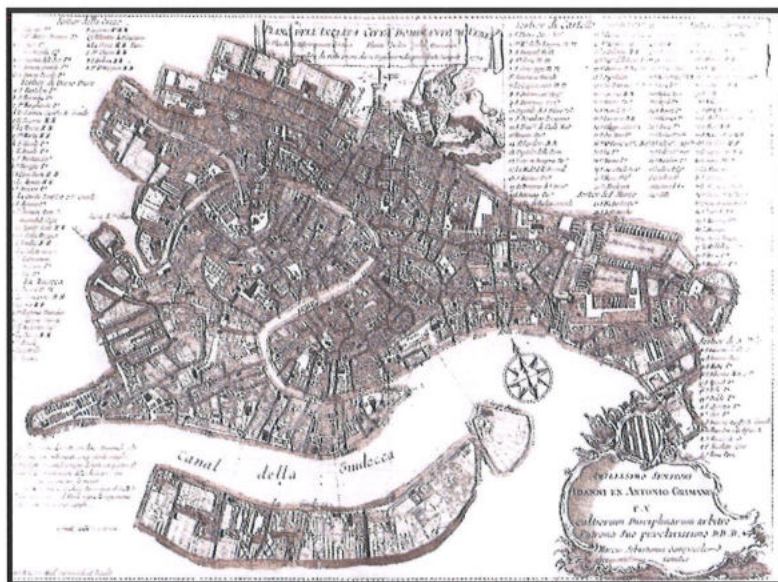
Ritengo opportuno premettere alcune considerazioni di carattere generale all'illustrazione di come si collochi il quarto ponte sul Canal Grande nella struttura urbana di Venezia.

1. Vorrei anzitutto sottolineare un fatto ovvio che però nella lettura della Venezia così come attualmente si presenta viene in genere non considerato o al più valutato di poco peso, presi come si è tutti (i non veneziani soprattutto) dalla straordinarietà di una città che appare tramandata sostanzialmente immutata nel tempo. Mi preme invece evidenziare che Venezia è cresciuta nel tempo, come ogni altra città, largamente trasformandosi sostituendo via via molte delle sue strutture edilizie ovvero destinandole a funzioni diverse da quelle originarie in conformità alle esigenze dei tempi, nonché intervenendo significativamente anche nella viabilità pedonale e acquea. Queste trasformazioni sono avvenute, come ovunque, anzitutto entro le mura cittadine, quindi soprattutto entro i limiti della grande isola; peraltro, ove possibile, anche fisicamente modificando il disegno delle sue particolari mura, invadendo cioè le acque lagunari che la circondano. Utilizzando in tale espansione principalmente le così dette *sacche* (quelle, per ricordare alcune delle più moderne cui si è fatto ricorso, delle Chiovere a Cannaregio e di Sant'Elena a Castello). Ma anche con interventi più massicci (vedasi il porto in zona di Santa Marta, i moderni bacini di carenaggio dell'Arsenale, l'isola nuova del Tronchetto ecc.), l'eclatanza dei quali è ben visibile nella planimetria di cui alla figura 1, specie se confrontata con quella della figura 2.

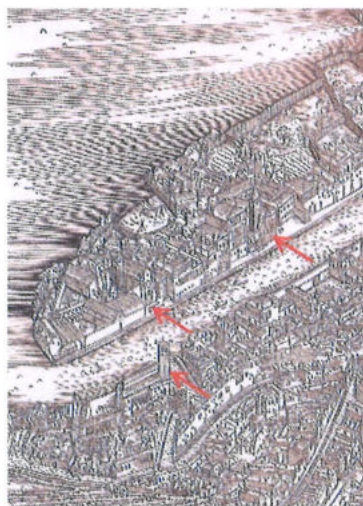
2. In epoca moderna (secoli XIX e XX) si è verificata nelle città maggiori d'Europa, e anche nelle principali degli altri continenti, una vistosissima espansione *extra moenia* cosicché le mura, o i loro resti, se fisicamente in larga misura abbattute, non hanno più delimitato la città ma solo il suo *centro*, individuato alquanto presto come *storico*. La particolare configurazione delle *mura* veneziane (l'acqua della laguna ap-



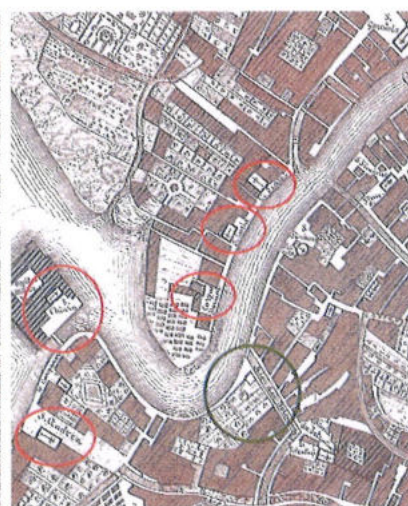
1. Venezia nel XXI sec.



2. Venezia. Anonimo, planimetria 1779.



3. Inizio del Canal Grande. Jacopo de' Barbari, 1500.



4. Inizio del Canal Grande. Primi del 1800.



5. Canaletto, veduta dell'ultimo tratto del Canal Grande, 1700 ca.



6. Inizio del Canal Grande. M. Perissini, pianta topografica della città, 1847.

punto) ha reso assai più lento questo tipo di espansione urbana. Infatti, fatta eccezione del Lido e di Porto Marghera e del relativo quartiere residenziale, chiamato appunto Quartiere Urbano di Porto Marghera (1917-1925), l'estendersi della città di Venezia *extra moenia* ha cominciato ad affermarsi in termini vistosi solamente a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso e ha proseguito esponenzialmente fino ai nostri giorni.

Volendo trascurare – per attenerci strettamente al tema – lo sviluppo urbano di Venezia in terraferma e considerare perciò le sole trasformazioni, intervenute e in corso, nella sola città d'acqua, appare opportuno considerare in modo particolare, in quanto più evidentemente incidenti nel determinare l'attuale sua fisionomia, esclusivamente quelle registrate negli ultimi 200 anni. In questo caso diventa ovvio che si debba porre particolare attenzione soprattutto a quanto successo sul fronte occidentale dell'isola a partire dalla metà del XIX secolo: la costruzione del ponte ferroviario translagunare, la realizzazione della stazione ferroviaria di Santa Lucia e la creazione della nuova struttura portuale (risultando già allora evidentemente impossibile una *modernizzazione* del porto storico di Venezia, ridottosi da secoli a essere il solo bacino di S. Marco dopo l'abbandono nel 1500 della portualità diffusa lungo il porto-canale costituito dal Canal Grande).

Operazioni queste che non comportarono solamente sconfinamenti della città in laguna ma anche cospicue trasformazioni della città storica, come documentato nelle figure 3-5 nelle quali si evidenzia come le nuove esigenze abbiano determinato un rivoluzionario assetto sulle rive più occidentali del Canal Grande con l'abbattimento – tra l'altro – delle chiese di Santa Lucia, della Santa Croce e di Santa Chiara, oltre a quella del *Corpus Domini* avvenuta in precedenza, creando nella zona fin dal 1847 una nuova topografia, quella illustrata nella figura 6, fase iniziale di un assetto urbano destinato a trasformarsi ulteriormente, modificando radicalmente – nei dintorni della stazione ferroviaria – la fisionomia della città, considerata ancor oggi, nonostante l'evidenza, immutata nei secoli e immutabile per sempre, mentre an-

che in molti altri luoghi (centrali e periferici), come appena accennato, la Venezia insulare si è trasformata notevolmente, proseguendo in epoca moderna (1800-2000) una consuetudine antica, testimoniata in modo eclatante dalle radicali trasformazioni della, e nella, stessa piazza San Marco che si sono succedute nel tempo. Anche in Venezia è avvenuto perciò quanto ha caratterizzato l'evoluzione nel tempo di tutte le realtà urbane antiche, pure se significative dal punto di vista storico-artistico.

Ciò che solo a Venezia appartiene è invece la singolarità del fatto che non solo in alcuni suoi particolari luoghi si ritrova conservato, come succede in ogni altra pur nobile realtà urbana, il passato, si gustano le testimonianze di una storia e di una tradizione, nel tempo mai venuta meno e neppure trascurata; a Venezia è tutta la città nel suo complesso che misteriosamente testimonia la permanenza nei secoli di una tradizione di gusti e sensibilità, cosicché pur nel suo infrenabile mutamento (talvolta realizzato anche con interventi non lodevoli o addirittura dagli esiti riprovevoli) essa pare sempre la stessa, è sempre la stessa. Ma solo nello spirito, nell'immaginario collettivo; non nella realtà se crudamente esaminata. Venezia è riuscita ad assorbire nel tempo perfino la sgraziata facciata della dependance dell'Hotel Danieli (1950), sconsideratamente incastonata nella preziosa Riva degli Schiavoni, tra quelle del Palazzo delle Prigioni (sec. XVI-XVII) e del Palazzo Dandolo (sede principale del citato albergo, sec. XV). È questo il miracolo della Venezia senza tempo, anche se nel tempo incarnatasi e al mutar del tempi adattatasi. Da questo miracolo proviene il suo fascino, deriva la sua malia.

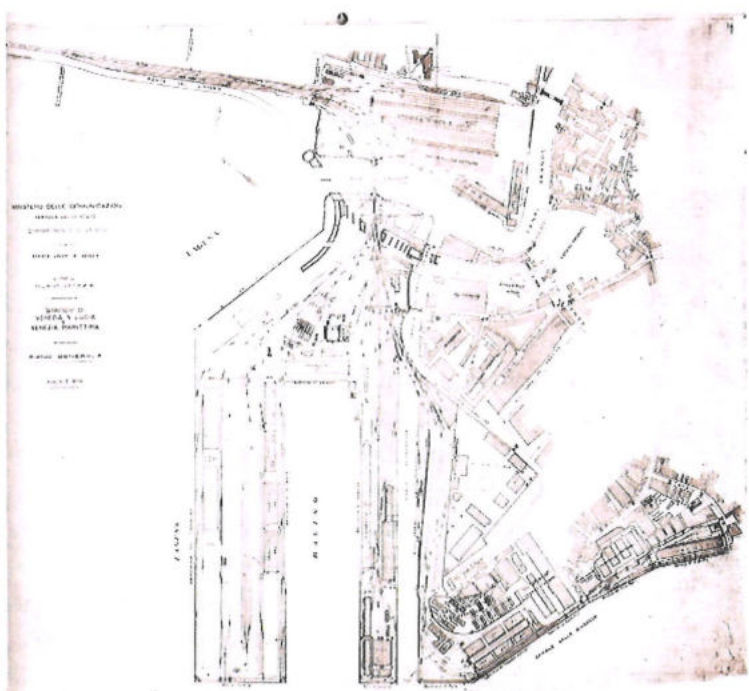
3. Così non sempre e non da tutti viene colto come i più eclatanti dei menzionati interventi ottocenteschi abbiano di fatto creato tra le propaggini più a ovest del Sestiere di Cannaregio una vera e propria *Venezia nuova* che però si volle subito ancorare saldamente a quella più antica non solo per evidenti esigenze urbanistiche ma anche per renderla partecipe di quella unità appena illustrata. Lo si fece con interventi significativi: anzitutto tra le rive del Canal Grande, di fronte alla stazione ferroviaria di S. Lucia



7. La ferrovia e il centro città. Interventi ottocenteschi.



8. I ponti degli Scalzi. L'Ottocento (sinistra) e il Novecento (destra).



9. La Venezia nuova. Stazioni di S. Lucia e Venezia Marittima. 1932 ca.

appena costruita, si è lanciato un ponte in ferro tipo Nevil-le (modernissimo per quei tempi) per legare quel tanto di nuovo fatto al di qua dell'acqua (del Canal Grande) a quel che stava ancora intatto al di là. Si è inoltre pressoché realizzata una viabilità più facile e *veloce* tra la ferrovia e il centro di Rialto-S. Marco, l'asse Rio Terrà Lista di Spagna-Rio Terrà S. Leonardo-Strada Nova, come evidenziato schematicamente nella figura 7.

In questo discorso di premessa non riveste importanza soffermarsi sul bel ponte degli Scalzi progettato dall'ing. Eugenio Miozzi in quanto nel XX secolo esso ha sostituito sul piano funzionale-urbanistico il menzionato ottocentesco ponte austriaco in ferro; risulta testimonianza eloquente di siffatta sostituzione quanto ripreso nella fotografia di cui alla figura 8. Interessa invece, e molto, quanto questo ingegnere ha realizzato poco prima più a ovest, nelle propaggini occidentali del Sestiere di Santa Croce: il Piazzale Roma con l'auto-riemessa comunale (la maggiore d'Europa, allora), radice in città del ponte automobilistico translagunare, costruito nei primi anni Trenta del secolo scorso, in gran parte in aderenza a quello ferroviario di circa novanta anni prima. Con tale complesso intervento si completava nel giro di meno di un secolo una sorta di *galleria* sulle *mura* di Venezia per legare ad essa il suo naturale retroterra (vedasi figura 9).

4. Attorno a Piazzale Roma in meno di vent'anni, nonostante il quinquennio della guerra 1940-45, si sono sviluppate iniziative numerose e importanti: oltre ad altre autorimesse, soprattutto la nuova isola del Tronchetto che, malgrado le difficoltà a urbanizzarla dignitosamente, sta oggi diventando finalmente un polo sempre più importante, luogo strategico di grande rilievo per l'economia veneziana. Di recente in tale zona della città e nelle sue immediate vicinanze stanno inoltre per realizzarsi interventi assai significativi, dalla cittadella della Giustizia localizzata nell'ampia area già occupata dalla vecchia manifattura dei tabacchi, alle iniziative di edilizia residenziale e di insediamenti terziari nel vasto comprensorio di piazza d'Armi in parte già proprietà dell'Italgas, nonché a quegli interventi che consentiranno l'uso più appropriato di non poche strutture portuali non più utili ai previsti nuovi interventi (in parte già in fase realizzativa) per creare strutture di servizio di grande rilievo nell'isola del Tronchetto.

Siffatte premesse risultano forse troppo lunghe rispetto al poco di veramente essenziale che intendo dire ulteriormente per inquadrare nella struttura urbana di Venezia la realizzazione del quarto ponte sul Canal Grande. Poco perché, dopo quanto detto, intendo limitarmi a proporre in modo sintetico solamente alcune considerazioni che presumo di ritenere fondamentali. In ogni caso, come spesso si usa dire nel linguaggio burocratico, considero tali premesse parte integrante, sostanziale, del mio discorso. Questo perché da esse risulta infatti evidente:

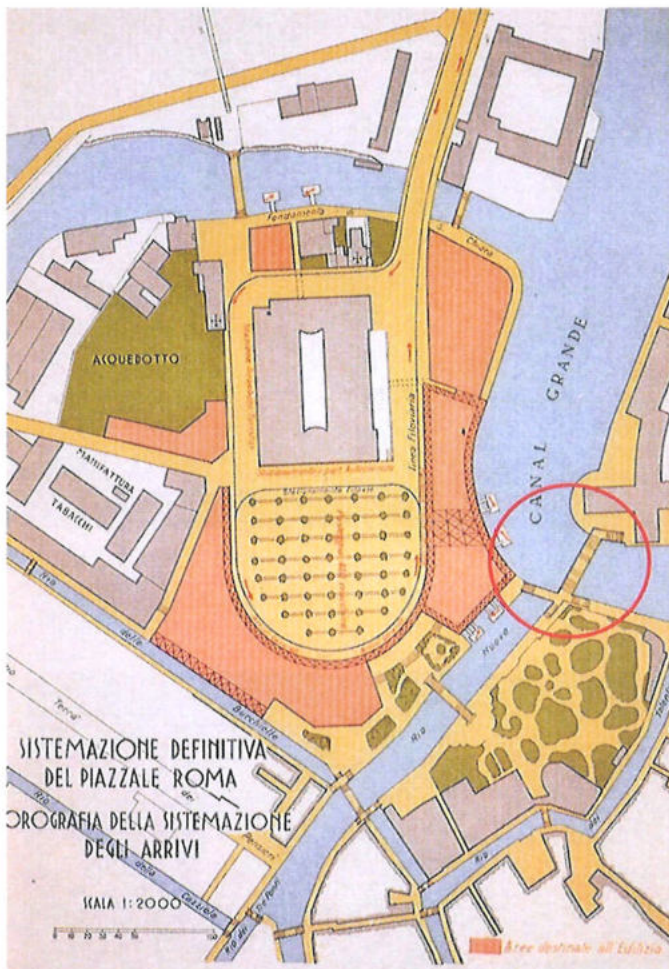
- come, nel periodo storico più recente, nella zona ovest

di Venezia, al di là dell'acqua (del Canal Grande), si sia andata definendo nel secolo scorso una particolare *Venezia nuova* secondo un processo che ha conosciuto accelerazioni e rallentamenti e che è ancora in corso: una *Venezia nuova* la quale, pur legata alla Venezia di sempre, da questa è distinta per funzioni e non solo per età e aspetti formali;

- come siffatta *Venezia nuova* novecentesca e del terzo millennio risulti complementare a quell'altra *Venezia nuova*, nata nell'Ottocento e parzialmente trasformata, diremmo *aggiornata*, nella prima metà del secolo XX (sostituzione del vecchio ponte degli Scalzi in ferro, costruzione della nuova stazione passeggeri della ferrovia, dismissione da parte delle FFSS dell'edificio ospitante la sede compartimentale di Venezia) sia ad essa assai prossima ma da essa ancora distinta, divisa.

Orbene, tutto ciò considerato, non può non risultare ovvio che queste *altre* Venezia devono risultare necessariamente ben unite, addirittura strette tra loro per costituire – per logica urbana – un'unica *Venezia nuova*, razionalmente convivente con quella più antica, di cui costituisce la moderna fase della sottolineata fisiologica evoluzione nel tempo di ogni organismo urbano: una Venezia che possiamo quindi individuare correttamente come *nuova* ma pur sempre una Venezia vera, anche perché saldamente unita a quella della tradizione con valide strutture *veneziane*, come il ponte degli Scalzi, i ponti sul Rio Novo, e attraverso una sorta di filtro edilizio che, da occidente a oriente, trasla dal *moderno* all'*antico* ed è costituito dalle strutture universitarie di recente sistemate tra Santa Marta e le Zattere recuperando edifici storici e di archeologia industriale e inframettendosi in quartieri di recente realizzazione o addirittura ancora in progetto. Rappresenta siffatto fenomeno urbano, che si è creato negli ultimi decenni e che ora si sta completando, un trasparente suggestivo legame tipicamente veneziano tra testimonianze di epoche diverse. Fenomeno anche questo destinato nel tempo – come sopra sottolineato – a essere assorbito nella generale considerazione di Venezia, come tanti nel passato, straordinariamente tipico di una città che, nonostante la suggestiva sua particolarità, ancora si trasforma per apparire comunque nel suo complesso quella di sempre.

La *Venezia nuova* che ho descritto è un importante e assai vasto settore della città d'acqua, per rendersi conto del quale è opportuno tornare a soffermarsi sulla pianta topografica riportata nella figura 9. Benché non fosse allora ancora possibile programmare concretamente, neppure realisticamente intravedere in termini programmatici, i possibili sviluppi della zona ampia attorno a Piazzale Roma, caratterizzata allora da insediamenti di tipo industriale ormai da tempo superati, risultava comunque, appena realizzato tale piazzale, indispensabile sopperire allo iato che spaccava in due questa grande realtà nuova che veniva a incidere da subito assai significativamente sulla vita della città, ma soprattutto nelle sue future prospettive, non come due sue appendici, estranee tra di loro, contraddittorie rispetto al concetto appena espresso della capacità di Venezia di essere unitariamente se stessa pur trasformandosi. Infatti già nel 1942 il citato ing. Eugenio Miozzi ebbe a prevedere nel piano particolareggiato da lui redatto comprendente l'intorno edificato prospettante su detto



10. E. Miozzi. Piano di risanamento di Venezia, 1942. Progetto di sistemazione di Piazzale Roma.

piazzale, un collegamento di tale area con la fondamenta di Santa Lucia attraverso un quarto ponte sul Canal Grande. Egli lo prevede collocato nella stessa zona nella quale ora sorge la struttura progettata da Santiago Calatrava; nella soluzione proposta dal Miozzi l'unica differenza è costituita dalla rotazione di tale ponte di circa 90 gradi, rispetto alla soluzione adottata dall'architetto iberico, con centro di rotazione sul piede posto in fondamenta Santa Lucia, coincidente in entrambe le soluzioni. La modesta differenza è legata alle diverse situazioni ambientali, che di fatto si sono notevolmente modificate nel volgere degli ultimi sessanta anni (vedasi figura 10).

Da quanto esposto appare evidente che il ponte in argomento non ha (almeno primariamente) funzioni di collegamento della città nuova con quella antica bensì il compito principale che è destinato ad assolvere è di unire tra loro le due grandi aree che lungo la storia di quasi due secoli hanno creato una *Venezia nuova* (una sola!), complementare in modo essenziale a quella antica. Una *passerella* in fondo che completa – tra l'altro – il percorso attrezzato che si sta realizzando a partire dall'Isola Nova del Tronchetto per concludersi, superata la Stazione Marittima (ove ha una fermata) in Piazzale Roma, precisamente nel punto dove incrocia il percorso Cittadella della Giustizia-Ponte Novo sul Canal Grande-Stazione di S. Lucia. Percorso questo fondamentale che interessa alcune delle più significative nuove realtà urbane di Venezia in corso di realizzazione o comunque già pro-



11. People mover.



12. People mover e i nuovi insediamenti.



13. Stato di fatto della viabilità automobilistica e pedonale con segnalati i punti di criticità dei percorsi.

gettate cui ho fatto sopra cenno, alcune delle quali vengono succintamente illustrate dalle figure da 11 a 22.

Passerella che unisce perciò la Venezia nuova che sta al di qua dell'acqua (il Canal Grande) con quella che sta al di là. Elemento perciò essenziale nel menzionato fondamentale percorso che attraversa per intero quella vasta Venezia nuova che costituisce il vitalissimo settore occidentale della città d'acqua; passerella che comunque è collocata in asse con il citato fondamentale sistema viario, creato nel XIX secolo, Ferrovia-Rialto (si riveda la figura 7) e quindi struttura che correttamente si può anche considerare vada ad aggiungersi a quella appena sopra indicata: essere cioè pure considerata atta a cucire il nuovo all'antico, dando unità alla struttura urbana complessiva, e complessa, della città d'acqua, specificatamente prolungando fino a Piazzale Roma l'asse ideato e realizzato nell'Ottocento tra Santa Lucia e i Santi Apostoli.

Il quarto ponte sul Canal Grande non si presenta quindi come una struttura semplicemente utile, ma assolutamente indispensabile, doppiamente indispensabile secondo quanto appena affermato. Comunque non certo un doppiante del Ponte degli Scalzi, come alcuni vanno sconsideratamente ripetendo, poiché quest'ultimo è stato a suo tempo realizzato per assolvere funzioni ben diverse, già sopra specificate, tuttora valide; quelle pensate nel XIX secolo, si ripete, erano deputate esclusivamente a meglio collegare il sito ove si era creata la *rivoluzionaria* stazione ferroviaria (assenti allora altre novità in zona) alla Venezia di sempre, verso il suo settore meridionale (zona S. Tomà-Frari), così come i coevi appena richiamati interventi viari realizzati in direzione orientale hanno avuto lo scopo di operare un altro ancoraggio del nuovo (di *quel* nuovo) all'antico, verso la più importante zona della città, quella di Rialto-S. Marco, centro vivo (e non solo amministrativo) della città, allora anche più di oggi.

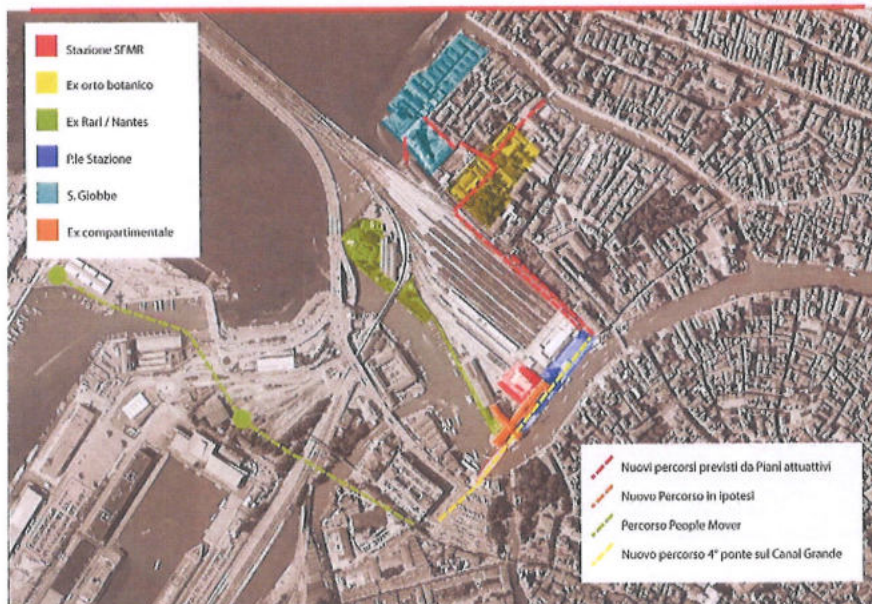
Concluso il compito d'inquadrare il nuovo ponte sul Canal Grande, il quarto, nell'ambito della struttura urbana della città di Venezia, argomento che potrebbe essere stato fatto oggetto di un più dettagliato svolgimento se il tempo a disposizione lo avesse consentito, mi sia permesso di aggiungere tre personali osservazioni legate sempre al tema del nuovo ponte, preso in considerazione però da altri punti di vista o per altri motivi.

a) Alcuni, oltre a parlare sconsideratamente di *inutilità* del ponte in argomento, tesi davvero del tutto infondata come si è visto, hanno ravvisato anche un'*incongruità* ambientale in tale struttura, pur riconoscendo tali critici una *bellezza*, una validità estetica del manufatto, che hanno colto pur potendolo considerare non ancora del tutto completato. Osservo: anche prescindendo da quanto detto sulla straordinaria capacità di Venezia di non rendere lesivo al suo *immutabile* aspetto qualsiasi intervento sulla sua fisionomia, mi pare evidente che da qualunque versante la si guardi, ora che è possibile valutarla sufficientemente per quello che è, l'opera di Santiago Calatrava si staglia su fondali contro i quali la sua *congruità*, siano essi rappresentati dai Giardini Papadopoli ovvero dall'autorimessa Comunale e dagli ex Magazzini Parisi, nobilita assai con la sua presenza tali prospettive. Osservo inoltre in senso più generale: se un oggetto (edificio, struttura o monumento che sia) è bello, come può essere considerato nei confronti dell'intorno *incongruo* in termini negativi? Le bellissime aeree sovrastrutture del periodo gotico fiorito della Basilica di San Marco risultano forse letteralmente *congrue* alla sua possente massiccia struttura bizantina?

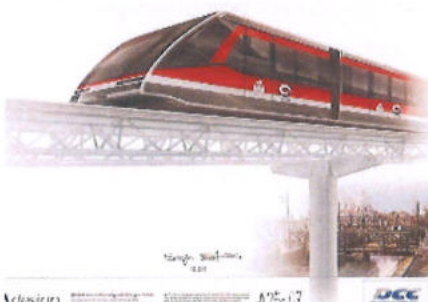
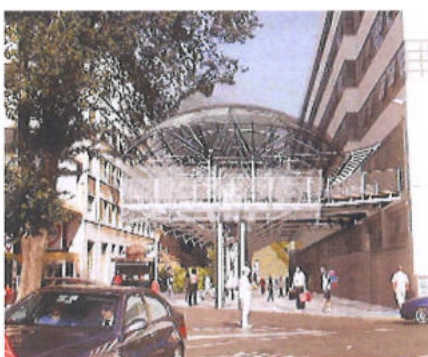
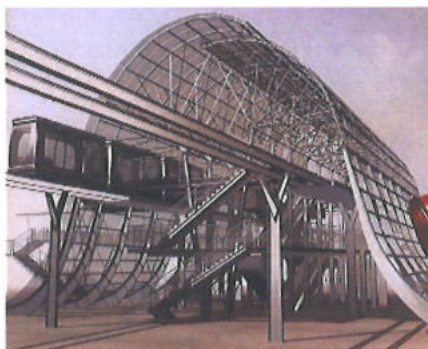
Quale bel palazzo che si affaccia sul Canal Grande è *congruo* a quello altrettanto bello costruito accanto, secoli prima o dopo? L'*incongruità* di per sé non può essere considerata per principio un disvalore. Quindi dal punto di vista estetico dinnanzi al ponte di Calatrava conviene ammirarlo in silenzio. Oltre che utile è bello, e perciò stesso anche *congruo*: taccia l'ignorante e il prevenuto, ovvero affermi che non gli piace, allora mi taccio: *de gustibus non disputandum!*

Panoramica degli interventi

VERSO IL
FAT



14. I nuovi percorsi della Venezia nuova.



Il People mover (15 partenza, 16 arrivo, 17 in corsa).



18. La nuova autorimessa.



21 e 22. La cittadella della giustizia. Vedute del plastico.



b) In città c'è stato tanto fervore per ricercare un nome da attribuire al quarto ponte sul Canal Grande. A me tanto fervore è parso non giustificato in quanto ritenevo ovvio che il suo nome non potesse che essere Novo. Non per improprio ossequio all'ovvietà, bensì per rispetto della tradizione veneziana. Infatti da circa cinquecento anni tale tradizione ci fa chiamare *nove* le fondamenta sulla laguna verso le isole di Murano e San Michele, da quasi duecento essa vuole che per i veneziani sia *nova* la strada che taglia gran parte del Sestiere di Cannaregio per agevolare il congiungimento della zona con Rialto; da quando è nato Piazzale Roma continua a essere *novo* il rio creato per abbreviare il raggiungimento per via d'acqua dell'Accademia e di San Marco dalla stazione ferroviaria e dalla grande autorimessa di Piazzale Roma. *Nove* e *novi* sono poi non poche, ormai antiche, corti, calli e campielli. Osserva il Tassini (1863): «Parecchie località di Venezia assunsero questo nome all'epoca della loro formazione relativamente ad altre preesistenti, alcune delle quali sono dette vecchie».

Con il nome *novo* si sarebbe elevato – tra l'altro – tale bellissimo manufatto a simbolo di quella Venezia nuova, i cui due distinti settori (ottocentesco e novecentesco) esso tiene uniti affinché questa particolare Venezia, nel suo intero

complesso, sia ancorata a quella antica. Si voleva derogare dalla tradizione e rifiutare ogni richiamo correttamente simbolico? Allora, anche in questo caso, non ci si doveva sbizzarrire troppo in gratuite invenzioni e lo si doveva intitolare al suo geniale ideatore Calatrava, come con il nome del suo progettista, Eiffel, è individuata la caratteristica torre divenuta simbolo di Parigi. Si badi bene, semmai ponte Calatrava e non *ponte di ...*, così come la torre parigina.

c) Da ultimo intendo spendere due parole per giustificare brevemente la mia avversione – che mi onoro di condividere con non pochi benpensanti più di me autorevoli – a dotare il nuovo ponte di uno strano marchingegno per consentirne l'utilizzazione (assai poco probabile!) da parte dei diversamente abili: cioè un complicato servo-scala, la cosiddetta *ovovia*.

Quale aulico scalone di pubblico edificio di recentissima costruzione ovvero addirittura tuttora in progetto o in cantiere è dotato, o si prevede di dotare, di servo scala? Nessuno che io sappia; e giustamente, sottolineo. E i diversamente abili? Viene loro negato l'uso di una struttura pubblica firmata magari da illustre architetto? Sì e con il consenso del legislatore il quale obbliga i diversamente abili a non utilizzare i costosi *firmati* scaloni per raggiungere i vari piani di tali edifici, o da essi discendere, e li costringe d'autorità a utilizzare esclusivamente (e non in alternativa) gli ascensori-discensori.

Meccanismi di questo tipo, ancor prima di ideare e dare inizio alla realizzazione del nuovo ponte sul Canal Grande, era previsto di mettere a loro disposizione: precisamente quei vaporetti del servizio pubblico lagunare che possono essere facilmente utilizzati per il traghetto da riva a riva, con percorso di minuti due a cadenza di minuti dieci, anche in ore notturne.

Siffatta soluzione relativa al ponte in parola mi pare non contraddica minimamente alla legge sull'utilizzazione da parte dei diversamente abili di opere pubbliche. Così come non sono *contra legem* i citati aulici scaloni degli edifici di nuova costruzione o in corso di progettazione tutti privi di servo scala. •



LAVORI EDILI SAS

CARPENTERIE E NOLEGGIO CASSEFORME

DI **GRANDESSO TIZIANO & C.**

30033 MELLAREDO DI PIANIGA, VE • VIA ZUMIANELLA 37 • 041468777



Il nuovo ponte per una Venezia al passo con i tempi, come sempre nei secoli della sua storia

Roberto Scibilia

Relazione tenuta al Seminario sul quarto ponte sul Canal Grande a Venezia organizzato dal Collegio degli Ingegneri di Venezia il 15 maggio 2008.

Questo scritto ha lo scopo di illustrare sinteticamente il progetto esecutivo per la costruzione del quarto ponte sul Canal Grande tra piazzale Roma e la stazione ferroviaria a Venezia redatto dall'ing. arch. Santiago Calatrava nell'anno 2001 su incarico del Comune di Venezia. Per la sua redazione, in qualità di Direttore dei Lavori fino al mese di giugno 2006, ho effettuato un aggiornamento in occasione del convegno organizzato dal Collegio degli Ingegneri della Provincia di Venezia, della precedente relazione redatta in collaborazione con lo Studio Calatrava S.A. e presentata per conto del Comune di Venezia al convegno *Steelbridge* tenutosi a Lione nel 2004.

Introduzione e cenni storici

Come nessuna altra città al mondo, Venezia ha un numero così elevato di ponti grandi e piccoli (446 per l'esattezza!) per cui la costruzione di un nuovo ponte non dovrebbe, in realtà, produrre grande sensazione. Il progetto del Quarto Ponte sul Canal Grande, invece, ha assunto una grande rilevanza non solo nell'ambito della città lagunare, ma anche a livello nazionale e internazionale acquisendo inoltre una particolare valenza storica. Esso infatti rappresenta una splendida testimonianza di come anche la cultura architettonica e ingegneristica contemporanea sia in grado di regalare al centro storico veneziano un *nuovo* manufatto mirabilmente inserito in un contesto urbano particolarmente *difficile* perché ricco di inestimabili preesistenze storiche che nell'arco di 1.500 anni ne hanno caratterizzato, con prezioso equilibrio, la unicità.

Ogni ponte ha una funzione unica ben precisa, perennemente uguale nel tempo: quella di collegare due sponde fisicamente separate, eppure ogni ponte è diverso da tutti gli altri e in una città come Venezia è impossibile non attraversarne almeno uno, ognuno con le proprie caratteristiche, mai identiche a nessun altro ponte. I ponti a Venezia costituiscono dei punti specifici nel tessuto urbano: sostituendo parzialmente la funzione della piazza rappresentano un punto d'incontro e di riferimento nella città, pur unendola. In questo caso i lati da unire sono quelli del Canal Grande.

L'importanza di questo Canale per Venezia, sotto l'aspetto storico e viario, è immenso. Il ponte progettato potrà condividere il privilegio di unire le fondamenta del Canal Grande con tre suoi predecessori. Ciascuno di essi realizzato in un particolare contesto storico di cui costituisce insostituibile testimonianza: Ponte di Rialto, costruito nel 1588 - 1591, Ponte degli Scalzi, costruito nel 1934 e Ponte dell'Accademia, costruito nel 1932 e ricostruito nel 1984. Il Quarto Ponte ha, dunque, tutte le possibilità di entrare a fare parte della storia di Venezia.

Situazione del ponte

Il sito nel quale è stato previsto il Quarto ponte è, sotto l'aspetto viario, un punto strategico per Venezia: infatti il ponte unisce la fondamenta della stazione ferroviaria con quella di piazzale Roma. Per gli utenti che provengono dalla stazione è il primo ponte da superare per spostarsi verso sud, mentre per quelli che arrivano a piazzale Roma per raggiungere la parte nord di Venezia. In particolare per il visitatore diventa la prima impressione percettibile della città, importante non solo dal punto di vista funzionale ma anche simbolico: accoglie il visitatore e gli fornisce un nuovo punto panoramico sul Canal Grande. Il ponte collega due importanti rive del Canal Grande rivalutandole entrambe insieme alla aree limitrofe, come è stato evidenziato dal precedente relatore ing. Tullio Campostrini.

Nel progetto non è stata trascurata l'accessibilità. Il ponte progettato non isola le fondamenta bensì le unisce. Attraverso delle apposite scale e rampe ai piedi delle spalle il ponte ridà loro vitalità, integrandole con i dintorni. Le rampe per la disabilità motoria lato piazzale Roma sono state oggetto di una variante in corso d'opera essendo state ridotte a due, spostate (migliorandone la fruibilità) sul lato opposto della spalla e sostituite da una gradinata.

Forma del ponte

Il ponte ha una campata unica di acciaio di 81 m, la lunghezza totale, dai gradini, sarà di 94 m e la larghezza sarà variabile: dal minimo di 5.58 m agli estremi al massimo di 9.38 m a metà ponte. Le quote vanno da +3.20 m all'inizio dei gradini fino a +9.28 m sul punto più alto, a metà del ponte. Il ponte ha una forma arcuata con un raggio molto ampio, di 180 m. La sua struttura è composta da un arco centrale, due archi laterali e due archi inferiori. Costole poste radialmente, rispetto al centro di curvatura principale, uniscono gli archi tra loro. Tali costole sono composte da tubi e pareti in acciaio a formare una cassa chiusa. Le due spalle del ponte, in calcestruzzo a forma di mezza luna, non occupano tutto lo spazio delle fondamenta, ma permettono il libero accesso sotto il ponte a chi procede lungo le fondamenta del Canal Grande. Da ciò deriva l'importanza anche dell'aspetto inferiore del ponte.

Funzione

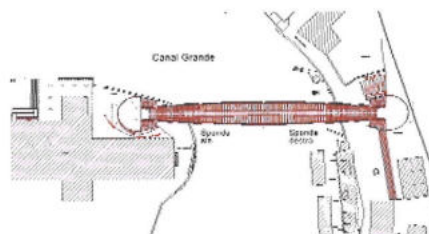
Il nuovo ponte pedonale collega come si è già detto, Piazzale Roma alla Stazione. Le due parti laterali ed iniziali del ponte sono superate con dei gradini, mentre la parte centrale ne è priva. In questo caso la pendenza varia tra 0 e 6%. Un importante aspetto del progetto è costituito dall'inserimento di due aree vicino alle due spalle del ponte che agiscono come prolungamento del ponte stesso formando simbolicamente uno spazio celebrativo per la città. La sistemazione dell'area verso Piazzale Roma in particolare dà respiro alla funzione viaria e favorisce il collegamento tra gli attracchi dell'ACTV e Piazzale Roma lasciando libera la viabilità sulla fondamenta lungo il Canal Grande.

Materiali

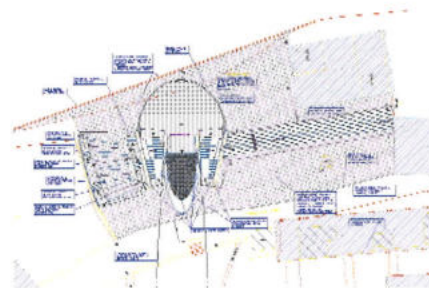
Data la sua ampia arcata il ponte genera una spinta imponente che è contenuta da due fondazioni a diaframmi in calcestruzzo armato. Dello stesso materiale sono anche le spalle del ponte che ne costituiscono l'appoggio per la parte arcuata in metallo. Queste spalle sono rivestite in pietra naturale d'Istria al fine di rispettare il più possibile la tipologia costruttiva storica veneziana dei ponti. La parte strutturale arcuata del ponte è composta completamente d'acciaio. La sua pavimentazione è costituita in parte da vetro di sicurezza (temperato) nelle fasce laterali e in parte da elementi in pietra naturale d'Istria negli attacchi della gradinata e nella fascia centrale, con le alzate in trachite. Anche per la zona a diretto contatto con le spalle del ponte è stata scelta una pavimentazione in pietra naturale d'Istria con lastre accostate a giunto unito. La pavimentazione delle aree antistanti riprende come materiale e morfologia quella attuale composta da porfido e trachite in lastre o macigni. Grande cura è stata posta nella progettazione illuminotecnica. Il ponte, infatti, è illuminato dal basso verso l'alto con un effetto scenografico che ne accentua la struttura e vi apporta sulla superficie un elemento di sicurezza. La trasparenza del pavimento con l'aggiunta dell'illuminazione inferiore crea un sentiero luminoso di grande effetto estetico e funzionale. Questo sentiero luminoso è accentuato dall'illuminazione posta all'interno del corrimano che dissipa il proprio raggio di luce direttamente nel parapetto in vetro, completando preziosamente la scenografia notturna dell'opera. Per quanto riguarda i dintorni l'illuminazione è prevista molto discreta nella forma ma non di meno accurata, in quanto le zone illuminate sono a raso terra. Degli spot murali a bassa altezza accentuano le sagome architettoniche dei dintorni.

Il parapetto del ponte è realizzato interamente in vetro. Un corrimano in bronzo patinato forma il bordo superiore del parapetto all'interno del quale si posizionano, come già accennato, delle lampade fluorescenti che illuminano così la superficie interna del vetro e generano quell'effetto di sentiero luminoso. Le due parti finali del parapetto, nella zona delle spalle, sono composte da blocchi in pietra naturale d'Istria sagomati in modo particolare.

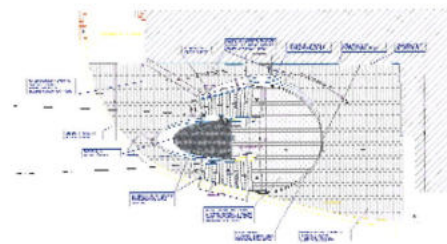
Per il drenaggio del ponte, sono realizzati degli scolini laterali in pietra naturale d'Istria, che incanalano le acque in superficie e le immettono negli scarichi posti ai piedi del ponte in prossimità delle spalle.



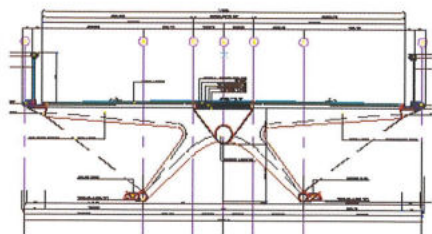
Localizzazione del nuovo ponte sul Canal Grande.



Lato piazzale Roma.



Lato stazione ferroviaria.



Sezione e costola campione.



Fotomontaggi.

Montaggio

Il montaggio del ponte è avvenuto totalmente dal canale. Il progettista aveva ipotizzato il trasporto del ponte sul posto in tre tronconi di uguali dimensioni con appositi pontoni. Il varo dei tronconi laterali, appoggiati alle spalle e a due pile provvisorie realizzate nel Canal Grande, avrebbe dovuto avvenire con due gru sistemate anch'esse su appositi pontoni. L'elemento centrale, giunto sul posto già appoggiato su due torri provvisorie montate sopra un mezzo nautico, avrebbe dovuto essere sollevato in quota per mezzo d'appositi martinetti e quindi depositato in sede per la successiva saldatura con i due elementi laterali. Gli elementi del ponte sono stati portati sul posto già trattati con un manto protettivo anticorrosivo e con la pittura di rifinitura. Il montaggio in effetti è stato poi effettuato con una metodologia simile a quella ipotizzata dal progettista, ma con alcune variazioni significative e particolari accorgimenti sui cui si soffermeranno successivamente gli altri relatori.

Scheda dati tecnici di progetto

Ponte

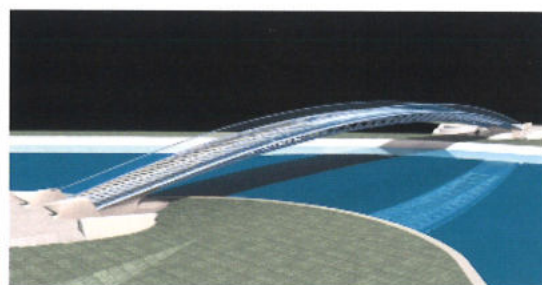
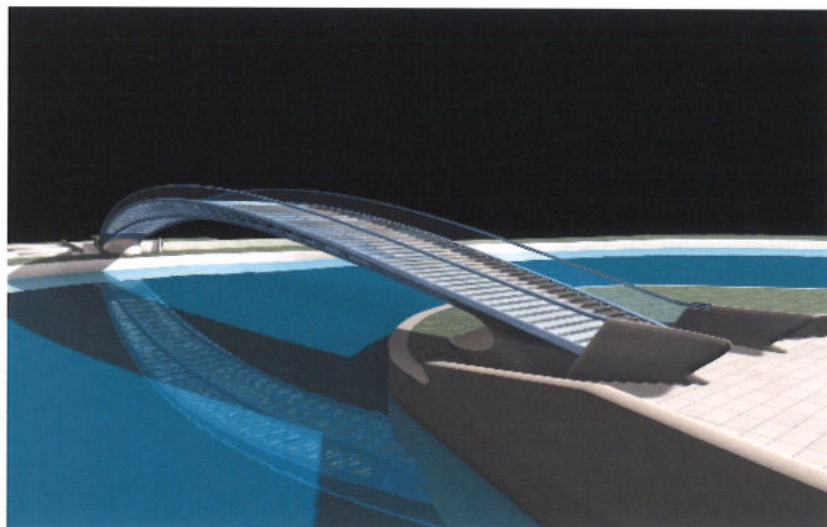
lunghezza max	m	94
lunghezza campata	m	81
larghezza max	m	9,38
altezza minima sul medio mare	m	3,20
altezza max sul medio mare	m	9,28
struttura in acciaio	kg	407,300
scavi	m ³	1,885
pavimentazione in vetro	m ²	210
elementi in pietra d'Istria	m ³	88
punti di illuminazione	n.	331

Spalle

calcestruzzo per fondazioni	m ³	900
calcestruzzo spalle	m ³	180
ferro per cemento armato	kg	475
pavimentazione in trachite	m ²	905
elementi in pietra d'Istria	m ³	37
pavimentazione in porfido	m ²	350

Struttura

Il ponte è composto da 5 archi connessi tra di loro con delle travi orizzontali. Queste travi di connessione sono disposte radialmente in elevazione. Dato che non esistono diagonali tra le travi verticali e orizzontali, il comportamento statico è simile a una trave Verreundeel, perciò le forze di taglio passeranno, in assenza delle diagonali, tramite momen-



Rendering.

ti di flessione dagli archi nelle travi verticali o costole. Perciò queste travi verticali risultano molto sollecitate anche con grandi momenti di flessione e, in sede di verifica delle tensioni, le sezioni di queste travi sono risultate le più critiche. Le forze assiali tipiche per i ponti arcuati, invece, sono riprese dall'arco centrale e dai due archi inferiori. I due archi superiori, invece, servono soprattutto per una stabilizzazione della struttura del ponte. La struttura presenta il comportamento statico tipico dei ponti arcuati. Per carichi uniformi e simmetrici, cioè peso proprio e sovraccarico dei pedoni, si manifestano grandi forze assiali negli archi e lievi momenti di flessione mentre critici risultano essere i carichi asimmetrici, per esempio la folla compatta disposta solo su un lato del ponte, con grandi forze assiali e momenti di flessione significativi negli archi.

Fondazioni

Per la scelta delle fondazioni delle due spalle si è puntato ad costruzioni possibilmente rigide, pesanti e profonde, considerando la situazione del terreno esistente e le forti spinte orizzontali provenienti dall'arco inferiore. La fondazione prevista per ciascuna spalla, un cassone di diaframmi profondo 22 m composto da 2 diaframmi paralleli di lunghezza 22.5 m con due pareti frontali di diaframmi lunghe 9 m irrigidito con setti interni e in più una piastra massiccia superiore, soddisfa queste richieste. Gli spostamenti in testa ed i cedimenti che si verificassero in futuro nonostante tutte le precauzioni prese saranno compensati da possibili adattamenti delle fondazioni con disposizioni per eventuali rinforzi come ancoraggi o micropali. Il controllo e la misura di cedimenti e spostamenti è cominciato subito dopo l'ultimazione delle fondazioni. In base a queste prime misure sarà possibile controllare e migliorarne la prognosi.

Compatibilità del ponte con la sagoma limite dei natanti

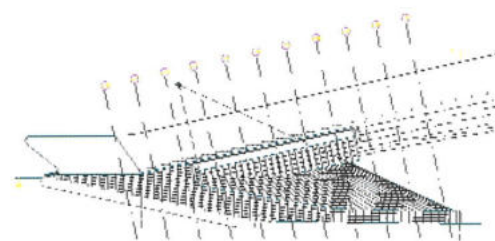
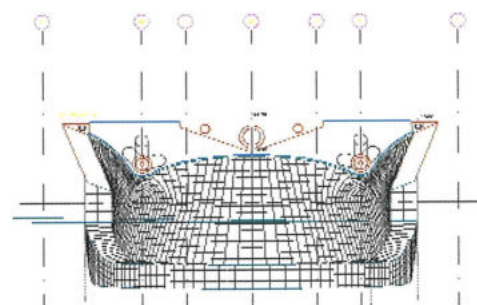
La luce utile sotto il ponte è stata prevista leggermente superiore a quella del vicino Ponte degli Scalzi al fine di non introdurre nuovi limiti alla circolazione di mezzi in Canal Grande, ciò anche in condizioni di alta marea sostenuta o «acqua alta». In particolare la forma delle spalle è stata scelta anche al fine di non disturbare le manovre dei vaporetto di attracco e partenza del vicino imbarcadero per la grande importanza che lo stesso riveste per il trasporto pubblico a Venezia. Anche nel malaugurato caso di spostamenti orizzontali delle spalle del ponte e di conseguenti correzioni la sagoma limite del ponte necessaria per la navigazione non sarà mai messa in discussione.

Compatibilità della sovrastruttura in vetro e pietra d'Istria alle deformazioni previste

Per il quarto ponte i carichi che possono causare le maggiori deformazioni relative sono quelli accidentali. Il carico permanente non causa grossi problemi perché il vetro sarà posato dopo il montaggio della struttura in acciaio e, dunque, la maggior parte della deformazione sarà già avvenuta. Anche le deformazioni relative dovute allo spostamento orizzontale delle spalle non dovrebbero causare grossi problemi al vetro o alla pietra d'Istria. La deformazione relativa verticale è modesta, maggiore è quella longitudinale nei singoli elementi. Questa è stata ripresa senza problemi perché i singoli pannelli di vetro sono appoggiati su neoprene e, quindi, le tensioni dovute a queste deformazioni sono minime. Le tensioni dovute alle deformazioni relative nella fascia di pietra d'Istria al centro del ponte sono più piccole che per i pannelli di vetro, grazie alla larghezza inferiore degli elementi in pietra.

Piastre d'acciaio nelle spalle

Per il trasferimento delle spinte del ponte alle due spalle sono state realizzate piastre d'acciaio con costole stabilizzanti nel calcestruzzo. La spinta orizzontale è trasferita nel calcestruzzo armato della spalla dalla piastra d'acciaio frontale. I tre archi principali continuano nella spalla con la stessa sezione d'acciaio mentre, per evitare fessure di taglio, è stato introdotto un gran numero di staffe.



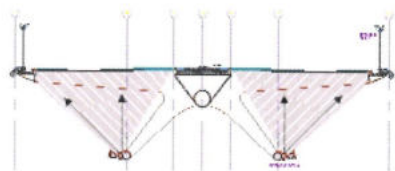
Tavole progettuali.



Il ponte costruito.

Struttura in acciaio del ponte

La struttura del ponte è costituita da strutture portanti, strutture di collegamento e strutture di sostegno delle pavimentazioni. In particolare il progetto prevedeva gli elementi dimensionali di seguito riportati. Gli archi inferiori sono stati previsti in tubo ROR da 216x60 mm e lamiera, gli archi superiori con sezione a cassone costruito in lamiera da 20 mm, l'arco centrale in tubo ROR da 419x30/60 mm assemblato ad un cassone di lamiera dello spessore di 30 mm più gli incastri per il fissaggio laterale alle due sponde costituito da tubi ROR 419-219 e 159x60/30 mm collegati a lamiera da 20, 30 e 40 mm. L'acciaio di travi e lamiera è del tipo Fe510 DD. I tubi sono di acciaio Fe510 D. Le saldature sono di prima classe a completa penetrazione levigate a raso. Le strutture di collegamento sono costituite dalle varie costole di ossatura che a loro volta sono realizzate con tubi ROR da 154.2x30 mm tagliati longitudinalmente e sagomati secondo i vari profili delle costole medesime con saldature a *scatola* di lamiera d'acciaio nei vari spessori richiesti. Travi e lamiera sono di acciaio del tipo Fe510 DD. I tubi sono di acciaio del tipo Fe510 D. Le saldature sono di prima classe a completa penetrazione levigate a raso. Le strutture di sostegno delle pavimentazioni sono realizzate con tubolari e profili in acciaio Fe360 D di varie sezioni comprensive anche dei telai in acciaio inox AISI 316 con superficie ruvida, antiscivolo. Detti telai sono provvisti di viti a testa piena a *scomparsa* per il bloccaggio dei gradini in vetro. Fatte salve alcune modeste variazioni e integrazioni introdotte in sede costruttiva il dimensionamento progettuale e la scelta dei materiali sono stati in linea di massima rispettati durante la realizzazione.



Illuminazione sotto il ponte.

Trattamento anticorrosione dell'acciaio

Il progetto prevedeva che tutti gli elementi di acciaio, ad esclusione dell'inox, fossero saldati, trattati e rifiniti secondo il seguente ciclo anticorrosione:

- categoria corrosiva C5-M secondo ISI 12944;
- sabbatura: preparazione delle superfici Grado Sa3;
- sottofondo: ZnAl 85/15, NDFT 80 ;
- 1° strato intermedio: Epoxy 2 strati, NDFT 20 ;
- 2° strato intermedio: Epoxy 2 strati, NDFT 70 ;
- 3° strato intermedio: pittura intermedia su base Epoxy o poliuretano, RAL in base allo strato superiore RAL, NDFT 69 ;
- ultimo strato: pittura finale su base poliuretano, specificato RAL 3011, NDFT 60.

Gli elementi, una volta realizzati in officina meccanica, sono stati assemblati in 3 conchi con accurata ripresa delle verniciature sui punti di saldatura. Successivamente raggiunto il luogo di posa è stata effettuata una ulteriore accurata ripresa delle finiture sui punti di saldatura al fine di garantirne la durata.

Pavimentazione e parapetto in vetro

Per la realizzazione di gradini e pavimentazione il progetto prevedeva l'impiego di un quadruplo strato opaco di 3x10 mm + 1x12 mm per un totale di 45 mm così composto:

- vetro temperato 12 mm, superficie superiore sabbata «8 mm grit», superficie antiscivolo, coefficiente di scorrevolezza con il pendolo del TRRL minimo 0.55;
- foglio acrilico fino ad 1 mm;
- vetro laminato spessore 10 mm 1° strato;
- polivinil butirrato 1 mm strato intermedio;
- vetro laminato spessore 10 mm 2° strato;
- polivinil butirrato 1 mm strato intermedio;
- vetro laminato spessore 10 mm 3° strato.

Per la realizzazione del parapetto perimetrale del ponte il progetto prevedeva l'impiego di un doppio strato trasparente di 2x15 mm per un totale di 31 mm come di seguito descritto:

- vetro laminato spessore 15 mm 1° strato;
- polivinil butirrato 1 mm strato intermedio;
- vetro laminato spessore 15 mm 2° strato. •



Nel 1999 il Comune di Venezia affidò all'architetto e ingegnere Santiago Calatrava l'incarico di preparare la documentazione relativa al Disegno di Ingegneria architettonica e strutturale del quarto ponte sul Canal Grande. Il Progetto, sviluppato da Santiago Calatrava in base alle norme e leggi vigenti e in collaborazione con numerosi organismi statali e comunali (Ferrovie dello Stato, ACTV, Associazione delle Persone Disabili, Vigili del Fuoco, Polizia ecc.) venne sottoposto a una serie di revisioni ed esami minuziosi da parte di diversi organismi come l'Associazione per la Protezione della Città di Venezia, la Sovrintendenza ai Beni Artistici e Culturali di Venezia e altri organismi.

In particolare, il progetto fu esaminato e valutato da un organismo indipendente, l'ICMQ, che diede il suo beneplacito e approvò il disegno come valido e conforme alle leggi vigenti e ai regolamenti. Il Progetto Esecutivo venne quindi approvato dal Comune di Venezia. In base a ciò il Comune di Venezia preparò tutte le procedure per il capitolato d'appalto del progetto stabilendo tutti i requisiti per le imprese partecipanti alla gara.

Fra le novanta domande, i lavori furono affidati all'impresa Cignoni, scelta in base all'offerta più bassa per la realizzazione del progetto, inferiore (4.074.906 Euro) al costo stimato nel corso del progetto (4.535.000 Euro, 20 agosto 2001). L'impresa Lorenzon di Noventa di Piave fu il fornitore di acciaio. La scelta dell'impresa di costruzione avvenne completamente sotto il controllo e la cura del Comune di Venezia, seguendo tutte le procedure del bando d'appalto, la selezione delle imprese, il processo di selezione e il processo di assegnazione del contratto.

La costruzione del progetto è iniziata nel 2003. Il Comune di Venezia creò un gruppo interno sotto la guida dell'ingegner Roberto Scibilia per la Direzione dei Lavori, con la piena responsabilità sulla progressione dei lavori, gli obblighi finanziari e di tempo, oltre al controllo pieno di tutti gli accordi contrattuali.

Nel corso della costruzione l'architetto Calatrava ha avuto l'incarico di fornire servizi di consulenza architettonica e artistica relativamente ai lavori, rivedendo i disegni preparati dall'appaltatore e visionando i lavori allo scopo di mantenere la coerenza architettonica, strutturale e artistica dei lavori in relazione alle proposte e ai metodi dell'impresa di costruzione.

Benché nel disegno originale fosse prevista l'accessibilità del ponte alle persone diversamente abili, fornendo elementi meccanici che ne avrebbero consentito l'accesso, il Comune di Venezia, in seguito a un'istanza delle associazioni locali, chiese che questi elementi venissero sostituiti da un altro sistema. Questo sistema venne accolto favorevolmente e approvato da Calatrava e nella struttura vennero introdotti i rinforzi necessari in modo tale che il nuovo sistema potesse essere utilizzato come aveva deciso il Comune di Venezia.

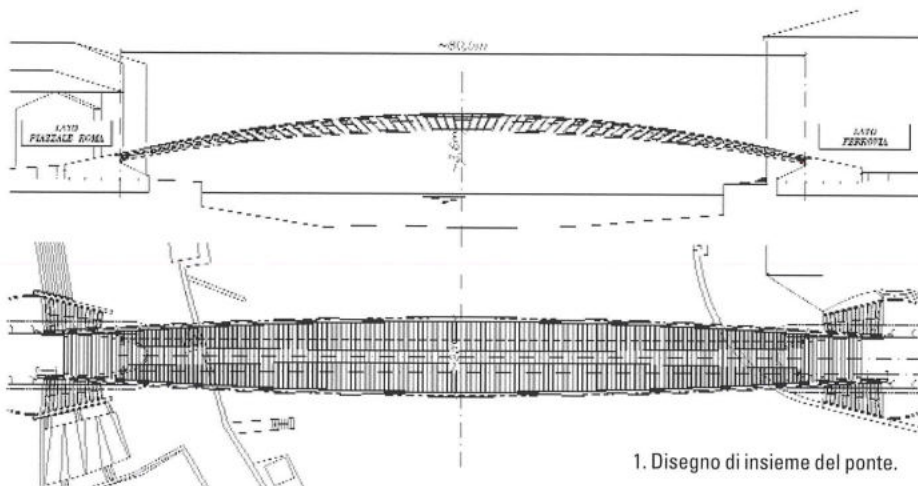
Alla conclusione dei lavori, il Ponte è stato controllato e collaudato mediante sofisticati metodi di collaudo stabilendo che il comportamento della struttura soddisfa non solo i requisiti minimi, ma anche i più esigenti rispondendo meglio di quanto previsto. L'ultima stima dei costi fatta dal Comune di Venezia (quinta perizia dell'11 novembre 2007) parla di circa 7 milioni di euro, cifra che copre però anche una nuova serie di importanti lavori (restauro di piazzale Roma, delle rive del Canal Grande ecc.). •

Storia del Progetto

Completamento e montaggio del quarto ponte sul Canal Grande

Giorgio Romaro

L'impresa Cignoni vincitrice dell'appalto per la costruzione del ponte nel lontano novembre del 2002, nel dicembre del 2006, quindi dopo quattro anni e dopo varie vicissitudini che l'avevano portata a una rottura contrattuale con il fornitore in opera delle carpenterie che aveva abbandonato incomplete le strutture di acciaio del ponte in banchina a Marghera, ritenne di chiedermi di accettare l'incarico della Direzione del montaggio del ponte. Accettai facendo presente che la mia esperienza nella realizzazione di ponti e grandi strutture d'acciaio, anche con Calatrava (copertura dello Stadio Oaka¹ ad Atene, tre ponti di Reggio Emilia e ponte di Gerusalemme²), mi consigliava di far estendere l'incarico anche all'onere di controllare progetto e disegni di Calatrava, le strutture, il progetto di trasporto e montaggio e il progetto delle future compensazioni previste da Calatrava (cfr. punto 1.2), intervenendo eventualmente con disegni e calcoli al fine di completare le strutture.



1. Disegno di insieme del ponte.

1. Breve descrizione del ponte con particolare riferimento al suo modello statico originale

1.1 Descrizione generale

Il quarto ponte sul Canal Grande, realizzato su progetto dell'architetto Santiago Calatrava, è il primo ponte che si incontra entrando a Venezia da piazzale Roma (arrivo auto o pullman), e non può certo sfuggire anche a chi arriva in treno; è un ponte pedonale ad arco molto ribassato con luce di circa 80,5 m e freccia di circa 3,6 m, la larghezza è di 9 m in mezzzeria e di 6,5 m alle spalle (figura 1). Il ponte ha una forma architettonica originale, antropomorfa, degna di una macro scultura che arricchisce i già incomparabili scorci di Venezia e che può essere soprattutto apprezzata da chi passa sotto il ponte (figura 2) sia con natanti sia a piedi, caratteristica, quest'ultima, unica per un ponte a Venezia.

L'intradosso del ponte ricorda lo scheletro di un cetaceo o una serie di 75 cirenei che, a gambe larghe puntate su due archi molto tesi, sostengono con braccia aperte e teste puntate sulla schiena l'uno dell'altro l'impalcato del ponte (figura 3). Esso è anche originale nel modello statico, che può essere così sinteticamente definito: «arco ribassato incastrato a spinta controllata e compensata»; d'altro canto Calatrava non è nuovo a ideare modelli statici originali [3]. Il ponte è formato da 5 archi di acciaio, uno superiore centrale, due superiori laterali e due archi inferiori, collegati tra loro da 75 costoloni disposti radialmente. I tre archi superiori hanno raggio verticale di 180 m, mentre i due archi inferiori hanno raggio maggiore (circa 265 m). L'altezza complessiva della sezione del ponte risulta, così, massima in chiave (poco più di 2 m) e minima agli appoggi (circa 87 cm, figura 3). La pavimentazione della fascia in corrispondenza dell'arco centrale è in trachite, quella sopra le mensole dei 75 costoloni è in vetro temperato, le alzate dei gradini sono in pietra d'Istria. Strutturalmente i carichi vengono portati alle spalle dall'arco centrale superiore e dai due archi inferiori, che sono vincolati a compressione sulle spalle (vedi sez. A-A in figura 3 per l'arco superiore). Inoltre l'attrito tra le piastre e, per basse compressioni, i perni di riscontro sulle spalle (3 per l'arco centrale e 1 per ogni arco inferiore) vincolano spostamenti e rotazioni dell'impalcato in fase di compensazione (figura 4). I due archi laterali, a sezione triangolare, non trovano riscontro longitudinale e trasversale sulle spalle (15 mm di gioco), ma solo quello verticale e hanno funzione di stabilizzazione dell'impalcato, impedendo le rotazioni intorno al proprio asse. In caso di «allontanamento» orizzontale tra le spalle, concomitante a calo di temperatura che porterebbe ad accorciamenti del ponte, i costoloni, che collegano gli archi laterali e quello centrale, possono funzionare come montanti di travi Vierendeel, di cui gli archi sono i correnti, cambiando lo schema statico che, invece, deve essere salvaguardato.



2. Intradosso del conchio in banchina.



4. La spalla lato ferrovia con cinque perni di riscontro degli archi.

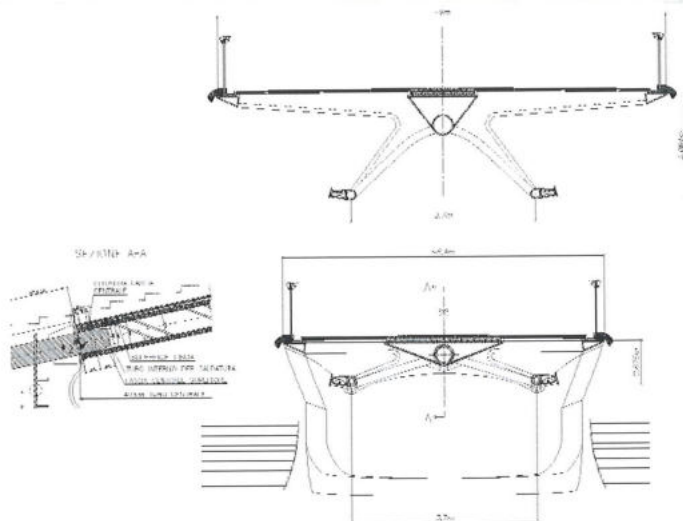
1.2. Schema statico e vincoli

Il ponte ad arco ribassato è incastrato alle estremità come segue:

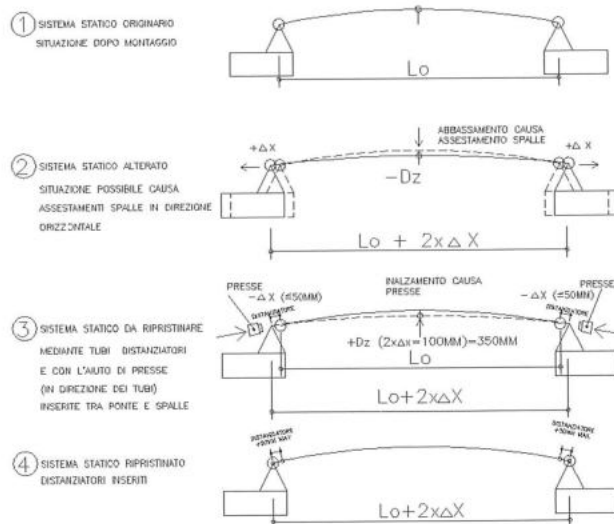
L'arco centrale superiore è vincolato a compressione e le forze di attrito tra le lamiere di spalla e del cassone centrale, dovute alla compressione, vincolano gli spostamenti verticali, trasversali e le rotazioni intorno al proprio asse (vedi sez. A-A, figura 3); in assenza di attrito tre perni di riscontro fissati alle spalle (centrale $\Phi 110$ mm) bloccano gli spostamenti e le rotazioni intorno al proprio asse (figura 4). L'assenza di attrito si ha durante le fasi di montaggio, durante le fasi di ripristino dei cedimenti e in alcune combinazioni di carico di esercizio particolarmente gravose.

I due archi inferiori sono vincolati a compressione e sono bloccati gli spostamenti verticali e trasversali attraverso l'attrito, o il riscontro realizzato con un perno $\Phi 79$ mm (ogni arco) in assenza di attrito, che si ha solamente durante le fasi di montaggio e durante le fasi di ripristino dei cedimenti.

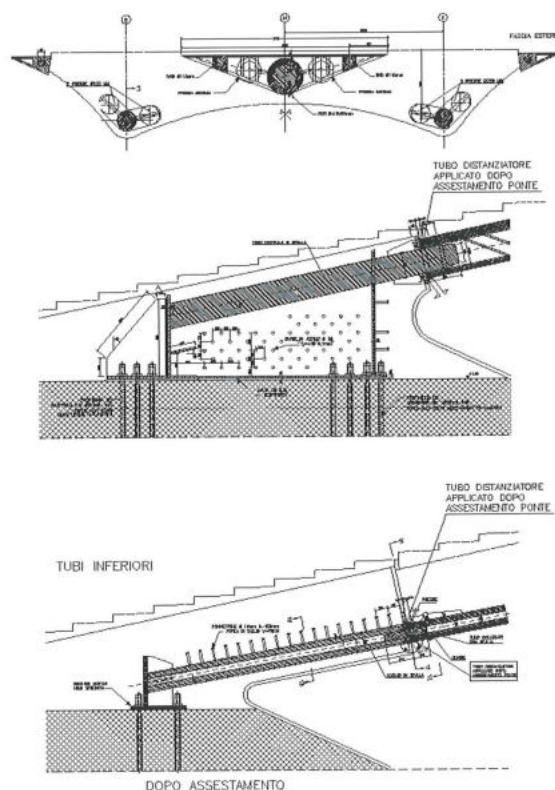
I due archi laterali sono liberi longitudinalmente e trasversalmente e sono bloccati solo verticalmente attraverso due perni di riscontro $\Phi 80$ mm, che impediscono così le rotazioni dell'impalcato intorno al proprio asse. Come abbiamo sopra ricordato il ponte può essere definito strutturalmente *un arco ribassato incastrato spingente a spinta controllata e compensata*, poiché se la spinta dovesse diminuire per un allontanamento reciproco delle spalle, il ponte perderebbe il suo modello statico e tenderebbe a lavorare come trave Verendeel invece che ad arco e a superare le tensioni di sicurezza nei nodi a incastro che si formano, Calatrava scrive e prescrive testualmente: «Possiamo definire come valore limite degli spostamenti orizzontali sulle due spalle uno spostamento $DX = 20$ mm» e gli spostamenti andranno ripresi come chiaramente indicato nella sua relazione tecnica (cfr. figure 5 e 6 ricavate dalla relazione e dai disegni Calatrava).



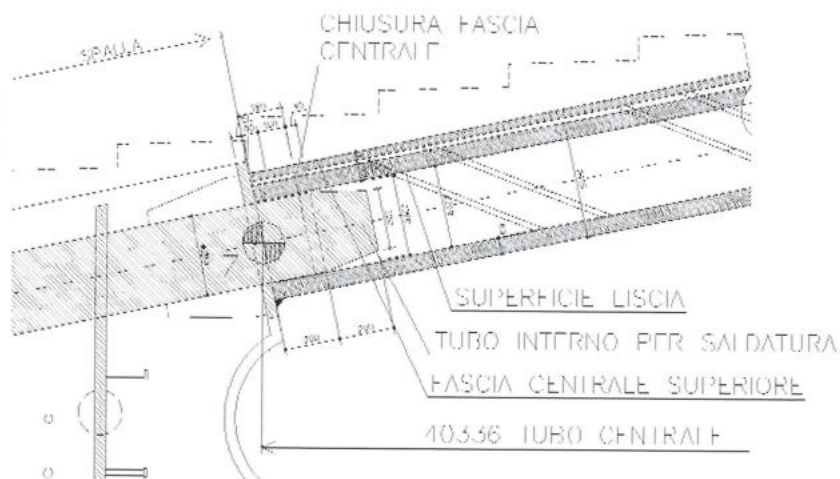
3. Sezioni del ponte in mezzeria e alle spalle (nella sezione A-A il piano d'impasto del tubo centrale).



5. Schema di assestamento del ponte come indicato nella relazione Calatrava.



6. Posizione dei martinetti per la ripresa della lunghezza di compensazione come indicato nei disegni Calatrava.



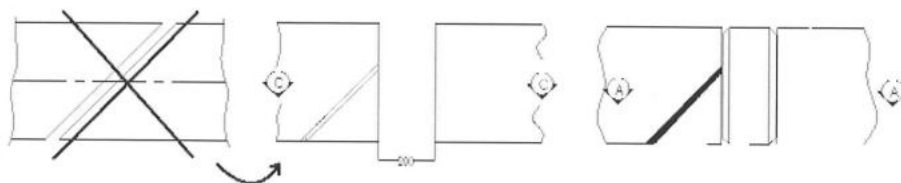
7. Estremità sulla spalla del tubo centrale come previsto nei disegni Calatrava (cfr. anche sezione A-A in figura 3).



8. Taglio sub orizzontale della estremità verso la spalla del tubo centrale così come riscontrato in banchina: si notano anche le estremità degli archi inferiori incompleti.



9. Giunto del tubo centrale così come riscontrato in banchina.



10. Giunto del tubo centrale ristudiato e come in seguito realizzato.

2. Note sul montaggio

2.1. I primi tre mesi: gennaio-marzo 2007

La descrizione del ponte e del funzionamento del suo originale modello statico fatta al punto 1.2. è il risultato dei primi tre mesi di studi del progetto e ispezioni dei pezzi in banchina. Questi tre mesi, che sono stati anche psicologicamente difficili perché vi era la convinzione a tutti i livelli che uno bravo come me in 10-15 giorni avrebbe montato il ponte (così almeno mi disse il mio cliente ai primi di gennaio), ci vollero invece tutti per controllare oltre le strutture d'acciaio del ponte in banchina a Mestre, i disegni e i calcoli per l'esercizio redatti dallo Studio Calatrava e i disegni e i calcoli dello Studio Bolina (quest'ultimo, dopo la risoluzione del contratto con il sub-fornitore della carpenteria, era stato incaricato dalla impresa Cignoni di progettare il montaggio). Constatata la correttezza di questi calcoli secondo la prassi, sono stati elaborati due fascicoli di calcoli «paralleli», che hanno validato il controllo: a) *Modello di calcolo del ponte, reazioni sulle spalle e verifiche in esercizio*; b) *Procedure di premontaggio, di montaggio e verifica del ponte e delle attrezzature provvisorie*.

I modelli di calcolo dello Studio Giorgio Romaro hanno portato a risultati concordi con quelli controllati, anche se – ovviamente – non identici perché i modelli tenevano conto delle rigidità riscontrate durante la prova di carico, effettuata in banchina dal Collaudatore, prof. ing. Enzo Siviero, nell'estate del 2006. Sono stati inoltre controllati i disegni costruttivi del fornitore delle carpenterie e le strutture del ponte così come realizzate. Non si sono potuti visionare i calcoli del fornitore e nemmeno quelli di montaggio in quanto non sono mai stati messi a disposizione dello

Studio Romaro (pur essendo previsto contrattualmente che in caso di variazione dello schema di montaggio proposto da Calatrava avrebbero dovuto essere presentati). Nei disegni in cui Calatrava rappresenta una sua proposta di montaggio è chiaramente precisato che lo Studio Calatrava avrebbe presentato i calcoli giustificativi a garanzia che la manovra prevista non avrebbe danneggiato le strutture solo se il costruttore si fosse impegnato a seguire quello schema e che, qualora il costruttore avesse deciso di seguire altro schema, avrebbe dovuto consegnare alla D.L. e al collaudatore i calcoli per dimostrare che le manovre da lui ipotizzate non avrebbero danneggiato le strutture. Il fornitore in opera delle carpenterie aveva proposto di montare il ponte in un unico pezzo invece che nei tre proposti da Calatrava, ma purtroppo non si è potuta analizzare detta soluzione non avendo a disposizione la relativa documentazione giustificativa. Considerato che, correttamente, nessun direttore lavori o collaudatore in corso d'opera avrebbe potuto permettere una manovra di montaggio che non fosse giustificata da precisi calcoli di verifica, questi calcoli, come sopra ricordato, furono sviluppati, successivamente alla rescissione del contratto con il sub-appaltatore delle carpenterie, dallo Studio Bolina, su incarico dell'impresa Cignoni. Il montaggio era previsto in tre pezzi, come già proposto da Calatrava, ma con dimensioni dei pezzi molto diverse, corrispondenti a quelle effettivamente costruite. Tornando allo stato delle strutture, il loro controllo mise subito in evidenza che vi erano differenze tra quanto realizzato e il progetto Calatrava; le zone di interfaccia tra il ponte e le fondazioni erano parzialmente incomplete e modificate, in particolare vi era un taglio sub-orizzontale del tubo centrale (figure 7 e 8), si pensa realizzato per posare il ponte sui perni durante



a



b

11. Preparazione delle dime per i pezzi sui manichini di spalla, **a** le dime sulle spalle lato Ferrovia e **b** la dima in officina accoppiata al manichino per riprodurre la spalla.



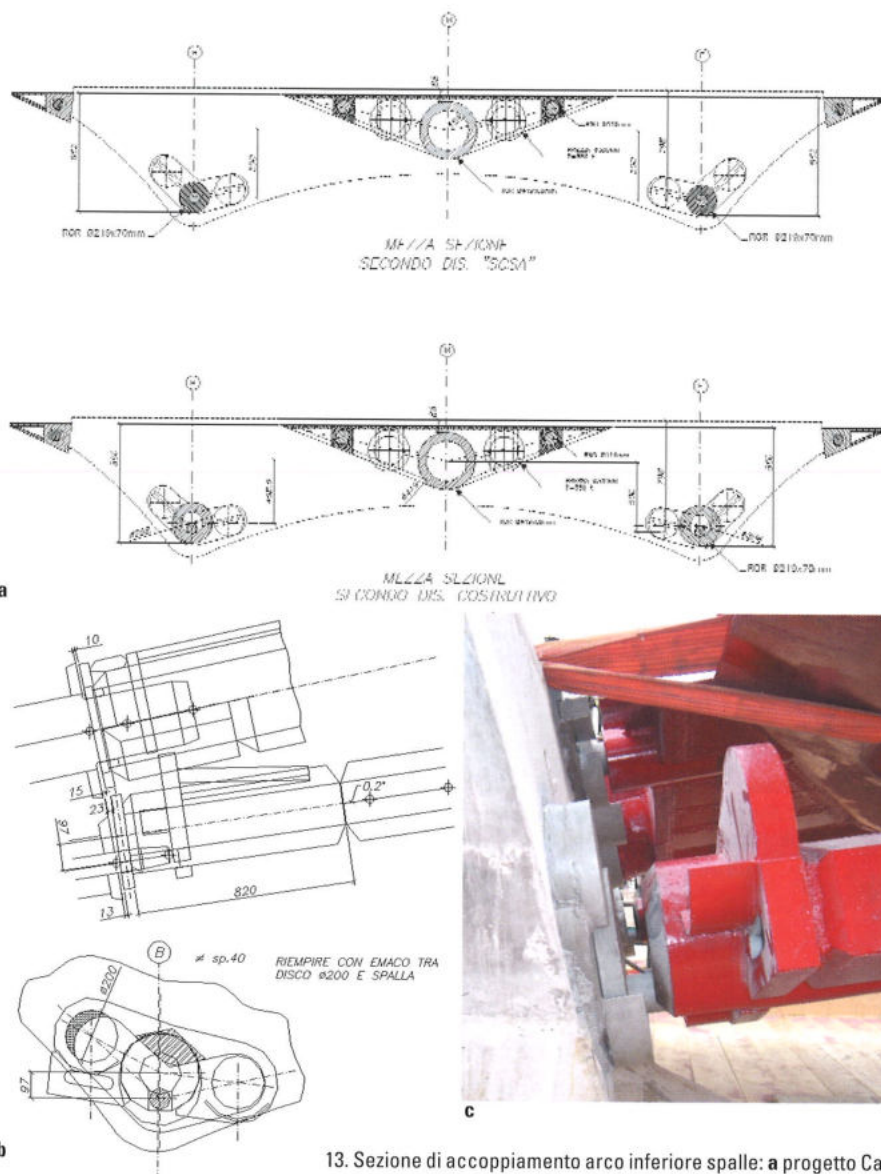
12. Manichini che hanno riscontrato in piazzale le spalle.

la manovra di montaggio. Tra le parti mancanti quasi un metro per ognuna delle quattro estremità dei due archi portanti inferiori, archi che erano stati realizzati nei conci terminali con tubo 299 di spessore 70 anziché con tubo 219 di spessore 70 come previsto dal progetto Calatrava. Pertanto l'accoppiamento con le fondazioni doveva essere verificato tenuto conto che i tubi 299 non erano stati montati coassiali al tubo 219, ma allineati sul filo inferiore. In relazione anche a quanto precede, si è ritenuto indispensabile procedere al premontaggio in bianco e alla realizzazione di opere di completamento illustrate in una quarantina di disegni. Nel mese di marzo si sono susseguite numerose riunioni al fine di illustrare agli interessati i calcoli e i disegni, nonché la necessità del premontaggio in bianco delle strutture, che fu alla fine approvato.

2.2. Secondo trimestre 2007 (aprile-giugno). Montaggio in bianco

Si sono riprogettate le giunzioni ed eseguito un premontaggio in bianco, cioè senza spinta né carichi, di tutto il ponte per i seguenti motivi: era da escludere che si potesse aprire sul Canal Grande un cantiere per più di pochi giorni; erano necessari numerosi interventi che non potevano essere di banale completamento a disegno, dato che il particolare modello statico non permetteva errori superiori al millimetro negli incastri a baionetta dei tubi sia di quelli inferiori sia di quello superiore (figura 4) e al centimetro per la lunghezza del ponte, mentre già dai rilievi fatti risultava che sulle lunghezze vi erano differenze dell'ordine dei 3 cm, quindi già vicini ai 4 cm che comportavano la necessità di una ripresa della lunghezza (vedi figure 5 e 6); ancora, non era possibile regolare le giunzioni al momento della posa in opera tra il blocco

dei quattro conci centrali e dei conci laterali così come erano previste (figure 9 e 10). Per realizzare questo premontaggio in bianco in banchina si è proceduto secondo precisi disegni; sono state costruite due dime sicure per dimensioni e posizionamento, sulla base dei rilievi in opera delle fondazioni (figura 11), con le quali sono stati realizzati due manichini (figura 12) che hanno riprodotto in piazzale la situazione delle spalle del ponte e controllato tutte le geometrie del ponte al millimetro. Il risultato di questo montaggio geometrico è stato quello di riuscire a imboccare i cinque perni sia lato Ferrovia sia lato Piazzale Roma al momento del montaggio in opera e di avere dei giunti verificati e affidabili da saldare in cantiere (figura 10). Le modifiche apportate in corso d'opera e la successione di attori diversi nelle varie fasi di realizzazione dell'opera, prima dell'intervento dello Studio Romaro, hanno avvalorato la correttezza della scelta fatta di eseguire un accurato premontaggio in bianco e adeguati lavori di preparazione delle strutture. Al contrario certamente ci saremmo trovati a dovere correggere tutti gli inevitabili errori e tolleranze di costruzione nel cantiere di posa in opera (quindi sul Canal Grande), con le immaginabili conseguenze negative sia per quanto riguarda i tempi di realizzazione sia per quanto riguarda la correttezza dell'esecuzione. Per riassumere le principali differenze, per i due archi inferiori, se nei disegni Calatrava i perni erano centrali sull'asse del tubo, in conseguenza alle modifiche apportate (nei disegni costruttivi) al diametro dei due tubi inferiori, i perni si sarebbero dovuti trovare spostati di 80 mm (299-219) verso il basso; infatti facendo filo al corrente inferiore si erano sostituiti i tubi diametro 219 spessore 70 con tubi diametro 299 spessore 70. In realtà i perni sulle spalle erano spostati verso il basso rispetto alla



13. Sezione di accoppiamento arco inferiore spalle: **a** progetto Calatrava, **b** costruttivo, **c** dal rilievo nel montaggio in bianco.



14. I bilanci di distribuzione del carico su tre diaframmi: **a** a terra in banchina, **b** da sopra, **c** da sotto.

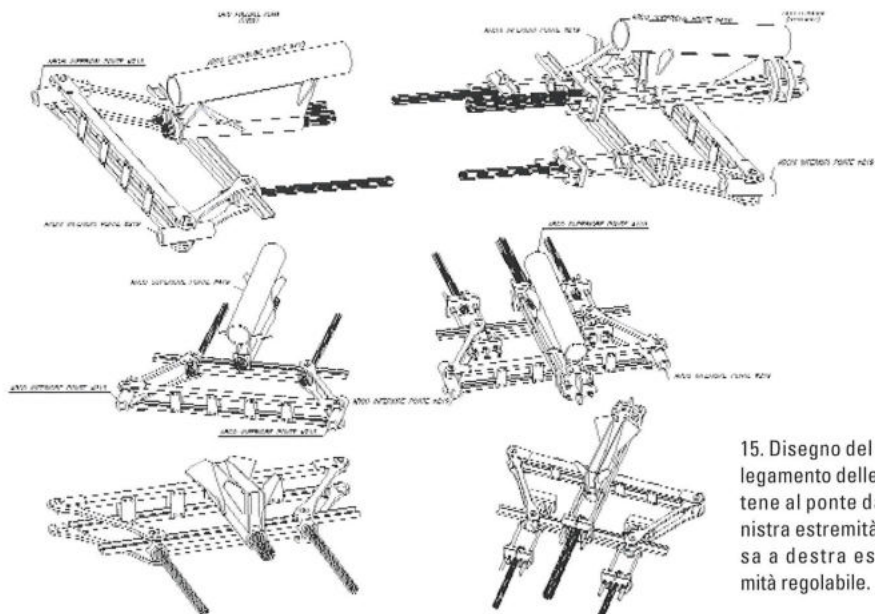
carpenteria all'incirca di altri 70 mm (figura 13). Contemporaneamente al premontaggio geometrico in piazzale sono stati sviluppati altri importanti lavori:

a) avendo rilevato dai calcoli di montaggio che, qualora si fosse sollevato il concio centrale, applicando banalmente i sollevatori ai quattro estremi dei due diaframmi, come conseguenza si sarebbe raggiunto lo snervamento nei diaframmi stessi, inoltre, constatando che non sarebbe nemmeno stato sufficiente ripartire la sollecitazione interessando due diaframmi per parte, è stato studiato un bilanciamento per distribuire ognuno dei quattro carichi sulle tre estremità dei diaframmi. Questi bilanci (figura 14) sono stati costruiti secondo precisi disegni, applicati alla struttura e provati in banchina sia come accoppiamento che sotto carico.

b) sono stati applicati alle strutture tutti i piatti necessari per poter collegare le catene e i tenditori per le catene (figure 15 e 16), completi delle sedi dei martinetti già posizionati per tesarle e o rilasciarle. Le catene erano costituite da trefoli tutti egualmente pretesi con 3 t, bloccati insieme, in modo da poter eseguire la manovra della tesatura per il sollevamento in banchina (figura 16): pertanto il montaggio sul Canal Grande non è stato altro che

la ripetizione di una manovra già perfettamente testata (vedi avanti).

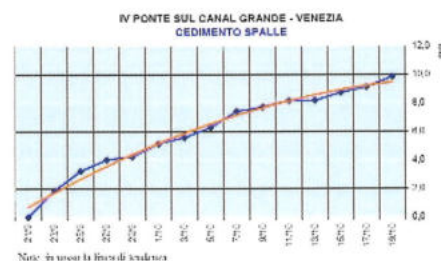
La resistenza a dare il via libera a traslare di tre mesi la fase di montaggio, in conseguenza della necessità del premontaggio in bianco, è stata certamente vinta dalle ragioni spiegate nelle varie riunioni, anche con l'aiuto dei colleghi Siviero e Vitaliani, a tutti i livelli tecnici e istituzionali, non solo sulla necessità di fare questa operazione, visto lo stato delle lavorazioni, ma anche in base ad un'osservazione banale: Calatrava aveva esplicitamente richiesto che il ponte fosse monitorato e che vi fossero delle attrezzature meccaniche atte a riprendere eventuali allontanamenti tra le fondazioni, allontanamenti che certamente, se fossero avvenuti, sarebbero iniziati all'atto della posa del ponte sulle fondazioni, cosa che in effetti si è verificata (figura 17). Queste attrezzature in realtà hanno comportato un tempo di approvvigionamento almeno pari a quello richiesto per le operazioni di premontaggio in banchina. Dette attrezzature erano anche necessarie poi al Comune di Venezia (che nel tempo sarebbe stato il manutentore dell'opera), pertanto erano state scorporate dall'appalto. Si ottenne così che tali attrezzature (elencate nel seguito) fossero installa-



15. Disegno del collegamento delle catene al ponte da sinistra estremità fissa a destra estremità regolabile.



16. Le foto delle catene in banchina: **a b** estremità regolabili; **c d** estremità fisse.



17. Movimento di allontanamento delle spalle nel primo mese di posa: si nota l'andamento verso una stabilizzazione.

te in cantiere prima della posa del ponte. Quattro martinetti idraulici da 400 t; otto martinetti idraulici da 260 t; una centralina a controllo informatizzato e misura delle pressioni con relativa registrazione dei valori; tre sensori di spostamento da predisporre sulle teste del ponte per il controllo di precisione degli spostamenti impressi; un'unità di acquisizione degli spostamenti con misure e registrazione dei valori; piccola attrezzatura per la posa in opera dei martinetti (i martinetti più piccoli pesano circa 70 kg, i più grandi circa 120 kg); semidischi di acciaio da interporre sulle testate per la ripresa in caso di allontanamento tra le spalle. Ed inoltre: due sensori di spostamento su una base di 2,4 m da porre sulle zone di testata dell'arco centrale; quattordici estensimetri ai quarti del ponte da porre a coppie, ortogonali sulla parete esterna dell'arco centrale e degli archi inferiori depurati dagli effetti termici (l'azzeramento è stato provato nella fase di montaggio in bianco); cinque sensori inclinometrici per la misura della deformata relativa all'arco centrale; un sensore di temperatura ambiente; un sensore di temperatura del materiale; un anemometro; una rosa dei venti. Durante i 3-4 mesi necessari al Comune per approvvigionare le attrezzature venne effettuata la prova in bianco nel corso della quale furono applicate le stazioni per le misurazioni e i sostegni dei martinetti sia sulla struttura che sulle spalle (figura 18). Durante la prova in bianco sono stati inoltre saldati sul ponte gli attacchi per l'ovovia prevista per il trasporto dei disabili.

18. Sostegni dei martinetti sulle spalle: **a** visti dal basso, **b** centrali visti dall'alto, **c** laterali visti di fianco.

2.3. Il trimestre luglio-settembre 2007

In luglio si sono eseguite le prove delle manovre di sollevamento del concio centrale (figura 19) con tutte le operazioni di tesatura funi eseguite con martinetti e centralina oleodinamica con le stesse modalità di quanto si sarebbe poi dovuto fare in zona Canal Grande e cioè tesatura delle catene a circa 1/2 del tiro finale, posa alle estremità del concio «incatenato», tesatura completa delle catene (circa 500 t complessive) e successivo allentamento totale per il trasporto (sempre in due step: il primo al 50% in appoggio alle estremità e il secondo di completo allentamento con il concio centrale appoggiato ai bilancini). A fine luglio vi è stato l'imbarco, il trasporto e il montaggio con gru da chiatta dei due conci laterali, posati sulle pile provvisorie dopo averli infilati sui cinque perni-spina fuoriuscenti a baionetta dalle fondazioni: operazione perfettamente riuscita (28-29 luglio) grazie al premontaggio in bianco (figura 20). In agosto: imbarco sulla chiatta del concio centrale, posizionamento e trasporto sul Canal Grande verso il cantiere, dopo uno spettacolare passaggio sotto il ponte di Rialto (figura 21). All'arrivo in cantiere: tesatura delle catene fino a circa 1/2 del carico finale, posizionamento della chiatta nel centro del Canale, rotazione del concio centrale sulla chiatta, sollevamento e posa sulle pile provvisorie (ore 14,30 dell'11 agosto: figure 25 e 26). Nel mentre si tesavano con i martinetti le catene ai valori finali, gli elevatori della chiatta abbassavano i martinetti portandosi via anche i bilancini, opportunamente sbullonati; dopo la manovra, la chiatta si rimetteva in posizione di navigazione. La manovra di montaggio ha ingombrato il Canal Grande soltanto dall'alba al tramonto di sabato 11 agosto. In agosto si sono cominciate le saldature dei tronchetti tra concio centrale e conci laterali. In settembre si sono continuate le saldature e si è completato il montaggio. Il 21 settembre, dopo aver allentato le catene del concio centrale, abbassato gli appoggi delle pile provvisorie (seguendo una precisa specifica), si è preso in forza il ponte sulle spalle controllando con i martinetti l'entità dei carichi e con sensori gli eventuali cedimenti delle fondazioni e regolando la lunghezza con piatti provvisori.



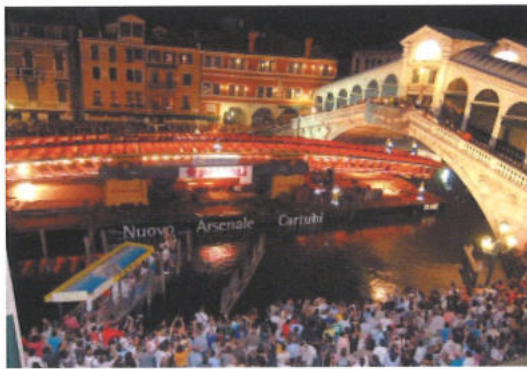
19. Collegamento del blocco centrale in banchina a Marghera.



20. Posa del concio laterale, piazzale Roma.

2.4. Ottobre-dicembre 2007 e primi mesi 2008

In ottobre sono continuati, da parte dello Studio Romaro e di 4 Emme, i controlli dei vari sensori del ponte, monitorizzato in continuo, e in base a questo monitoraggio ed ai riscontri topografici, si è deciso un intervento sul ponte (23 e 24 ottobre) intervento che è consistito nella regolazione della lunghezza del ponte e nella compensazione della lunghezza con tronchi saldati, invece che con piatti provvisori. La lunghezza del ponte era diminuita rispetto alla distanza tra le spalle a seguito delle saldature in opera dei tre tronchi, della differenza tra la diversa temperatura di montaggio reale del 21 settembre e la temperatura ideale individuata in 10°C e dell'allontanamento dal giorno 21 settembre di 10 mm tra le spalle, misurati sia in base ai rilievi della 4 Emme sia dal topografo ing. Emilio Zanette (in effetti ne sono stati ripresi 13 mm) (figura 17). In novembre, durante la prova di carico (figura 24), nei giorni 22-24, si è rimesso il ponte (per la terza volta) sui martinetti, per controllare le spinte del ponte sulle spalle durante la prova di carico (controllo richiesto dal Collaudatore). Con il topografo, ing. Emilio Zanette, si sono poi controllate in parallelo alcune misurazioni topografiche fatte dalla Tecno Veneta incaricata delle misure topografiche nel corso della prova di carico. In dicembre, il giorno 5, si è ricontrollato con il Topografo l'allontanamento dalle spalle (altri 3 mm) e la deformata del ponte e si sono fatte alcune prove di illuminazione del ponte stesso (figura 25). Verrà infine eseguito un ultimo controllo e riassetto del ponte per indicare il punto di partenza per le future manutenzioni e saranno date precise prescrizioni, complete di relazione sugli interventi effettuati dal 21 settembre 2007 nonché una specifica (concordata con il collaudatore statico prof. Enzo Siviero) riguardante i futuri interventi destinati a chi dovrà eseguire la sorveglianza e decidere gli interventi di riassetto per conto del Comune, una volta terminato l'impegno dello Studio Romaro su incarico della Cignoni.



21. Il quarto ponte transita sotto il primo ponte (di Rialto).

3. Considerazioni finali

Il ponte è finito (figura 26) e frequentato e molto ammirato per la sua originalità architettonica. A me resta l'amarezza di non essere riuscito a mettere pace fra i vari attori che hanno contribuito a realizzare l'opera, cosa che normalmente mi riesce in tutti i lavori.

Certamente ho montato il ponte e questa era la problematica principale, ma il clima è restato quello che avevo trovato (tutti contro tutti).

Quello che mi preoccupa è che (proprio a causa di questo clima) nonostante le sollecitazioni del Collaudatore e mie, non è ancora stato eseguito il riassetto del ponte che sia il finale per la fase costruzione e punto di partenza per future manutenzioni.

Questo riassetto deve essere assolutamente eseguito prima dell'inverno che si avvicina e sono sicuro che lo si farà nonostante il perdurare del clima menzionato sopra.

In effetti è stato finalmente deciso di farlo entro il mese di settembre 2009.

Bibliografia

1. G. Romaro, «Atene 2004; la prima sfida olimpica deve vincerla una formazione italiana», *Galileo* n. 162 marzo-aprile 2004.
2. C. Romaro, G. Romaro, «Da Atene a Reggio Emilia con Santiago Calatrava: uno scavalco autostradale eccezionale», *Galileo* n. 177 agosto-settembre 2006.
3. G. Romaro, «Impressioni di uno strutturista sulla mostra antologica di Santiago Calatrava», *Galileo* n. 83 settembre 1996.



21. Fase di avvicinamento e montaggio del blocco centrale del ponte.



23. Posa del blocco centrale del ponte.



24. La prova di carico.



25. Prove di illuminazione del ponte.



26. Foto d'insieme del ponte.

Quarto ponte sul Canal Grande Ponte della Costituzione

Dati tecnici

Peso strutture di acciaio

Acciaio

Protezione acciaio

Peso arredi

400 t ca.

S355K2G3

metallizzazione ZNAL 85/45

200 t ca.

trachite (pedate interne)

pietra d'Istria (alzate)

vetro temperato (pedate esterne)

parapetto in vetro

corrimano in bronzo

Il vetro delle pedate, studiato e realizzato dalla Saint-Gobain Glass espressamente per questo ponte, è composto da quattro strati in vetro temperato da 10 mm l'uno incollati tra loro con intramezzo un foglio di PVB di 1,52 mm. Lo strato di calpestio ha ricevuto un trattamento anti scivolo studiato e certificato da Saint-Gobain Glass con la collaborazione del Centro Ceramico di Sassuolo (MO) e la Stazione Sperimentale del vetro di Murano (VE).

Dati generali

Committente

Progetto Architettonico e Strutturale

Progetto del montaggio

Direttore montaggio e completamento delle strutture d'acciaio

Collaudatore statico

Impresa Generale

Strutture metalliche a piè d'opera

Comune di Venezia

Arch. Ing. Santiago Calatrava, Zurigo

Studio Bolina, Mestre

Ing. Giorgio Romaro, Padova

Prof. Ing. Enzo Siviero, IUAV Venezia

Cignoni Srl, Lendinara (RO)

Lorenzon Techmec System Spa

Noventa di Piave (VE)

Siro Marin, Correzzola (PD)

Officina Metalmeccanica

di Inzitari Obenito,

Arquà Polesine (RO)

Omar Costruzioni, Pegolotte (VE)

Fagioli Spa, Reggio Emilia

Tensacciai Spa, Milano

Trasporto e posa in opera

Catene provvisorie per il montaggio

Attrezzatura di compensazione

e monitoraggio

4Emme Service Spa, Bolzano



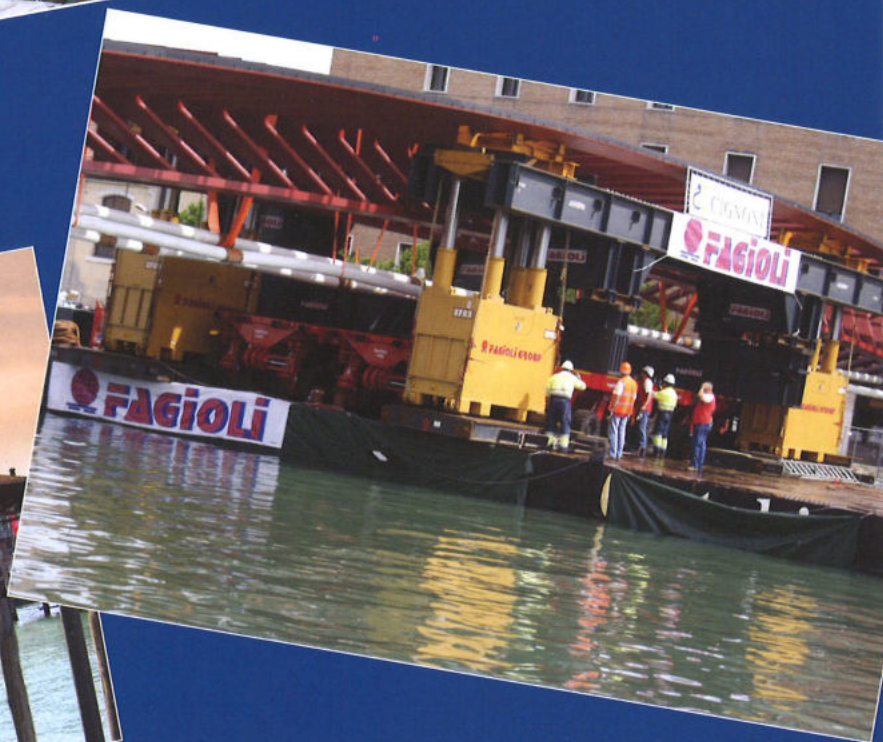
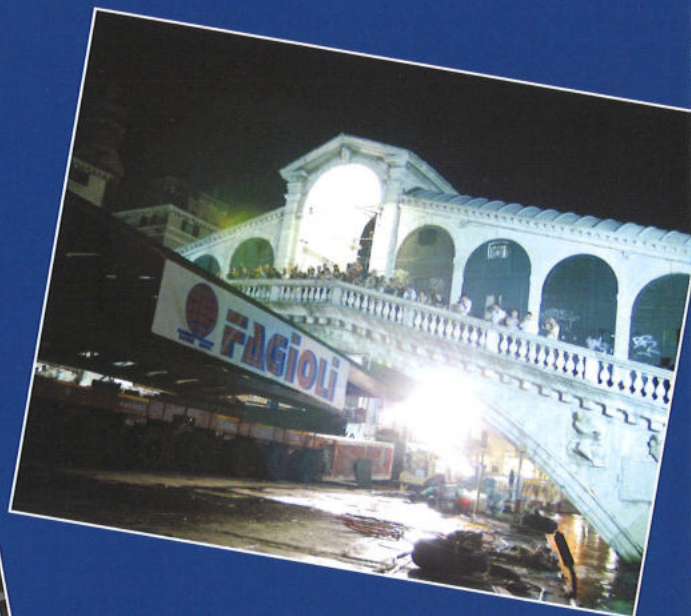
FAGIOLI

TECHNOLOGY
MOVES THE WORLD



THE ART OF HEAVY LIFTING

IS ABOUT ENGINEERING, COMMITMENT AND EXPERTISE...
NOT JUST EQUIPMENT!!!



www.fagioligroup.com

Sul montaggio del quarto ponte sul Canal Grande

Bruno Briseghella¹, Tobia Zordan²

¹ Fuzhou University, Cina

² Tongji University, Shanghai, Cina

Bolina Ingegneria srl

Il quarto ponte sul Canal Grande, opera dell'architetto-ingegnere spagnolo Santiago Calatrava, è un arco metallico fortemente ribassato di 80 m con un rapporto luce/freccia di 1/16. La complessità della geometria della struttura portante del ponte e le incertezze legate alla sensibilità dello schema strutturale utilizzato ai cedimenti orizzontali delle fondazioni hanno determinato la scelta di effettuare delle prove di carico sulla parte centrale dell'arcata metallica prima del varo con l'applicazione di una distribuzione di carico sia simmetrica che asimmetrica. In tal modo è stato possibile verificare l'effettiva deformabilità del ponte, sia longitudinale che trasversale, e calibrare di conseguenza il modello di calcolo. Le prove di carico sono state simulate con l'impiego di un modello strutturale tridimensionale agli elementi finiti.

Il modello elaborato, tarato come detto in precedenza sui risultati della sperimentazione, è stato successivamente utilizzato per simulare con successo l'intera operazione di varo del ponte.

Anche qui, vista la delicatezza delle operazioni, ogni singola fase è stata provata in banchina per prevenire eventuali imprevisti e minimizzare le difficoltà in opera.

Le simulazioni effettuate e l'estrema cura riposta nella programmazione delle operazioni di montaggio, ha consentito, una volta *in situ*, fasi costruttive reali agevoli e ottimamente rispondenti alle attese, con un risparmio sulla tempistica prevista.



1. Fotomontaggio del quarto ponte sul Canal Grande.



2. Posizione del quarto ponte sul Canal Grande a Venezia.

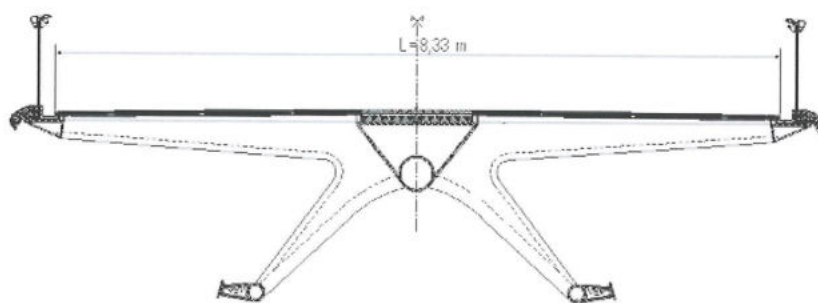


Il quarto ponte sul Canal Grande a Venezia

Il quarto ponte sul Canal Grande a Venezia, opera di Santiago Calatrava, è costituito da un arco fortemente ribassato di luce pari a 80.8 m e freccia di 4.76 m (figura 1) adibito al collegamento della stazione ferroviaria con piazzale Roma (figura 2).

La sezione trasversale (figura 3), di larghezza variabile da 6.5 m agli appoggi a 9 m in mezzzeria (tabella 1), è costituita da un arco centrale, due archi laterali e due archi inferiori. Le forze assiali, caratteristiche del comportamento ad arco sono affidate all'arco centrale e ai due archi inferiori, mentre i due archi superiori hanno soprattutto una funzione di stabilizzazione della struttura del ponte. Il collegamento tra i cinque archi, e quindi la trasmissione degli sforzi di taglio, è realizzato tramite un orditura di travi (costole) ortogonali alla linea d'asse del ponte, secondo il tipico schema di trave tipo Vierendeel. Le fondazioni sono costituite da diaframmi profondi 22.5 m a realizzare una struttura scatolare rigida. La pavimentazione del ponte è realizzata in pietra d'Istria nella parte centrale e da elementi in vetro nelle due fasce laterali.

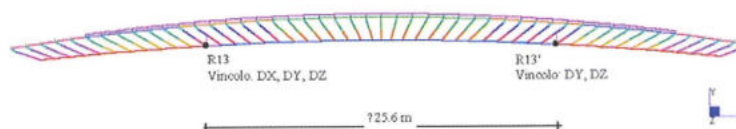
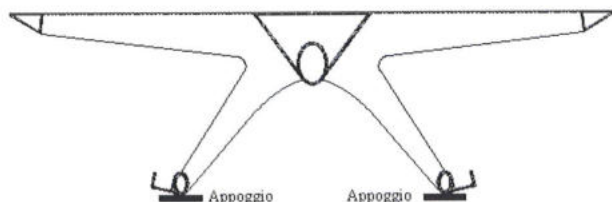
La tipologia strutturale utilizzata caratterizzata da una bassa rigidità intrinseca e da una forte spinta orizzontale agente sulle fondazione (più di 10.000 kN solo per i carichi permanenti) ha comportato l'adozione di un sistema di controllo dei cedimenti ed eventuale ripresa degli stessi per mezzo di martinetti installati all'interfaccia tra le estremità dell'impalcato metallico e le spalle al di sopra delle fondazioni. Il comportamento statico legato alla cedevolezza del vincolo in un contesto delicato come quello veneziano, insieme alle caratteristiche della sezione trasversale e allo schema adottato per lo sviluppo longitudinale dell'arco tipo Vierendeel, hanno implicato la necessità di sofisticati approfondimenti tecnici in fase di validazione del progetto, realizzazione e montaggio. Il risultato degli approfondimenti ha determinato alcune modifiche alle fondazioni del ponte, risultate alla fine essere costituite da diaframmi chiusi di 22.5m di profondità a



3. Sezione trasversale in mezzzeria del quarto ponte sul Canal Grande a Venezia.

Tabella 1. Dimensioni geometriche principali del quarto ponte sul Canal Grande.

Lunghezza totale	80,8 m
Freccia in mezzeria	4,76 m
Schema statico	arco fortemente ribassato
Larghezza dell'impalcato	min. 6,50 m; max 9,00 m
Struttura in acciaio	407,300 kg
Altezza della sezione	min: 1702 mm; max: 2084 mm



comportamento scatolare rigido, agli spessori delle sezioni strutturali previste nel progetto originale nonché una soluzione diversa per il montaggio dell'opera.

Grande attenzione è stata posta nella valutazione della risposta della sezione trasversale di tipo «aperto», poiché è noto come sezioni di questo tipo possano avere, una volta in opera, deformazioni trasversali apprezzabili. La passerella è stata pre assemblata in tre conci a Marghera, i due laterali di lunghezza pari a $L = 13.4$ m e il centrale di 54.0 m e poi è stata trasportata sul luogo d'installazione sul Canal Grande con una chiatte.

La campagna di prove sperimentali prima del montaggio

La complessità della geometria della struttura portante e le incertezze legate alla sensibilità dello schema strutturale utilizzato ai cedimenti orizzontali delle fondazioni hanno determinato la scelta di effettuare una campagna di prove sperimentali sul concio centrale del quarto ponte sul Canal Grande prima del varo rivolta alla determinazione della effettiva rigidità della struttura e alla successiva taratura del modello di calcolo ad elementi finiti utilizzato per simulare il comportamento del ponte in esercizio.

Poiché una prova di carico sul ponte completo e vincolato come in opera sarebbe risultata molto onerosa e di difficile realizzazione, in quanto lo schema statico di ponte ad arco fortemente ribassato determina la presenza di grandi forze orizzontali da eliminare (dell'ordine delle 10.000 kN per i soli pesi propri) e vista la scelta di effettuare il varo del ponte in tre conci, si è scelto di effettuare le prove unicamente sul concio principale appoggiato su due punti distanti 25.60 m. Le effettive condizioni vincolari sono rappresentate nelle immagini seguenti (figure 4 e 5).

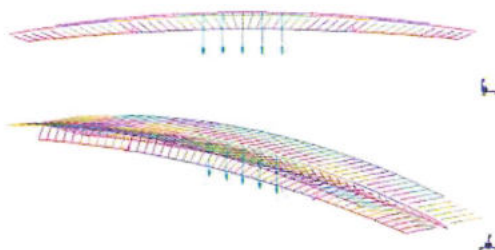
Sono state previste tre condizioni di carico: la prima prevede cinque carichi concentrati con tiro massimo di 150 kN (totale 750 kN) applicati in mezzeria dell'arco centrale, la

4. Sotto sx. Sezione trasversale del ponte. Schema posizione appoggi durante le prove di carico.

5. Sotto dx. Vista laterale del modello. Posizione appoggi per la prova di carico.

seconda prevede cinque carichi concentrati con tiro massimo di 100 kN (totale 500 kN) in mezzeria dell'arco superiore destro (deformazione torsionale), la terza prevede due carichi concentrati con tiro massimo di 150 kN (totale 300 kN) ad una estremità dell'arco centrale. Il carico è stato applicato alla struttura attraverso martinetti vincolati al ponte con delle fasce (nastri di sollevamento a doppio strato in poliestere) e alla struttura di contrasto realizzata attraverso un solettone rigido in c.a.

Per quanto riguarda la strumentazione di misura utilizzata, sono stati previsti 12 trasduttori di spostamento per misurare le frecce in corrispondenza delle sezioni caratteristiche e dodici estensimetri per determinare gli stati tensionali in alcuni punti significativi. Si riportano alcuni risultati ottenuti nella campagna sperimentali per la condizione di carico in cui i carichi sono stati applicati in modo simmetrico sia rispetto all'asse longitudinale del ponte che alla mezzeria in modo da ottenere la massima deformabilità longitudinale (figura 6).



6. Prova di carico 1. Foto del sistema di applicazione del carico e schema della sua distribuzione.



7. Spalla del ponte e dima realizzata per il completamento della testata del ponte.



8. Alcune delle fasi di pre-assemblaggio e di prova della fasi di movimentazione effettuate in Banchina a Marghera.



Tabella 2. Condizione di carico 1. Forza applicata, spostamenti misurati e attesi e relativo errore (con : y_{pr} spostamento misurato nelle prove di carico; y_{mod} spostamento atteso dal modello a elementi finiti).

Forza totale (kN)	Sensore 10 (mm)			
	y_{pr}	y_{mod}	Δ	%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	1,90	1,93	0,03	1,38
100,00	3,30	3,85	0,55	16,74
150,00	5,55	5,78	0,23	4,12
200,00	7,10	7,70	0,60	8,52
250,00	9,05	9,63	0,58	6,42
300,00	10,90	11,56	0,66	6,03
350,00	11,60	13,48	1,88	16,23
400,00	13,10	15,41	2,31	17,63
450,00	14,95	17,34	2,39	15,95
500,00	16,80	19,26	2,46	14,65
550,00	18,30	21,19	2,89	15,78
600,00	20,10	23,11	3,01	15,00

I risultati sono riportati in tabella 2. Le prove eseguite hanno dimostrato una rigidezza maggiore di circa il 20% rispetto a quanto ottenuto con la modellazione a elementi finiti; tale comportamento è giustificato sia da un'effettiva maggiore rigidezza dei nodi strutturali, sia dai limiti della modellazione con elementi *beam* utilizzata inizialmente.

Il pre-assemblaggio in banchina

Una delle maggiori difficoltà nella realizzazione della carpenteria metallica si è rivelata essere il completamento delle zone di ancoraggio alle spalle, pensata dal progettista come un gioco millimetrico di incastro fra i perni vincolati alle spalle e i tubi saldati alle testate del ponte. Per ovviare a problemi costruttivi insorti durante la realizzazione e per ottenere la precisione richiesta sono state utilizzate due dime (due veri e propri stampi) del sistema di vincolo struttura-spalla (figura 7).

Vista la delicatezza delle operazioni di montaggio e per prevenire eventuali imprevisti e minimizzare le difficoltà in opera si è deciso di simulare ogni singola fase in banchina (figura 8) utilizzando le stesse macchine previsti per le movimentazioni dei conci sul Canal Grande, in particolare sono state provate:

- fasi di tiro e di rilascio dei cavi temporanei utilizzati in fase di montaggio per controllare la geometria del concio centrale del ponte e assorbire la spinta dovuta al comportamento ad arco;
- sollevamento e movimentazione dei conci laterali con le stesse gru poi utilizzate sul Canal Grande;
- sollevamento del concio centrale con gli stessi sollevatori utilizzati sul Canal Grande;
- utilizzo delle stesse selle poi utilizzate per appoggiare i conci in fase transitoria sulle pile provvisorie sul Canal Grande (figura 9);

Le simulazioni effettuate e l'estrema cura riposta nella programmazione delle operazioni di montaggio, hanno consentito, una volta *in situ*, fasi costruttive reali agevoli e ottimamente rispondenti alle attese.



9. Appoggi utilizzati in fase di pre-assemblaggio a Marghera e loro successivo montaggio sulle pile provvisorie.



10. Sopra. Trasporto dei conci con chiatta dal cantiere di pre assemblaggio a Marghera al luogo finale di installazione a Venezia.



11. A sinistra. Montaggio dei due conci laterali del ponte con gru mobile posta su chiatta.

Il montaggio

Il ponte, diviso in tre conci, è stato trasportato sul luogo d'installazione con due viaggi da una chiatta appositamente allestita dal cantiere di assemblaggio fino al luogo finale d'installazione.

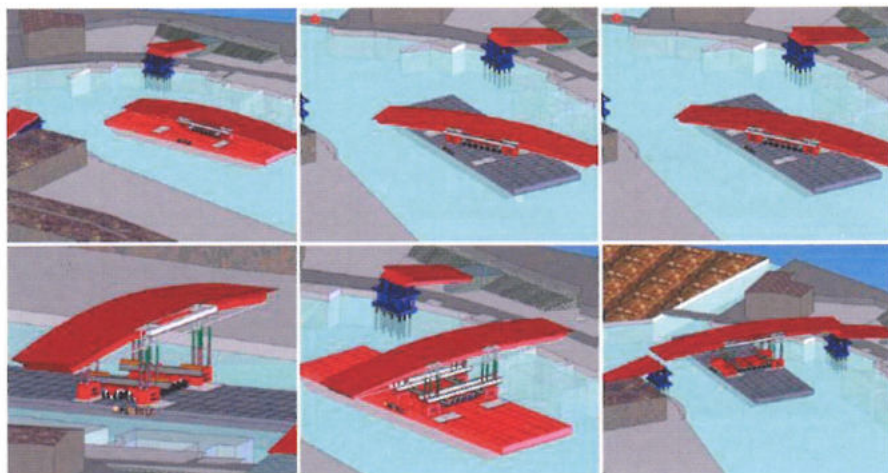
Le fasi di trasporto e montaggio possono essere così riassunte:

a) Prima fase (28 e 29 giugno 2007)

- movimentazione sino all'imbarco dei due conci laterali;
- imbarco su chiatta dei due conci laterali;
- trasporto lagunare e lungo il Canal Grande;
- varo dei conci laterali;
- trasporto a vuoto lungo il Canal Grande e in laguna della chiatta;

b) Seconda fase

- movimentazione sino all'imbarco del concio centrale;
 - imbarco su chiatta del concio centrale;
 - trasporto lagunare e lungo il Canal Grande;
 - varo del concio centrale (11 agosto 2007);
 - trasporto a vuoto lungo il Canal Grande e in laguna della chiatta;
- Il viaggio dei conci (figura 10), effettuato di notte, ha avuto alcuni passaggi altamente spettacolari e delicati, come l'attraversamento del ponte dell'Accademia o di quello di Rialto, possibile solo in corrispondenza del minimo di marea.
- Dopo il varo dei conci laterali di lunghezza 15 metri e 85 tonnellate di peso ciascuno avvenuta tra il 28 e 29 giugno (figura 11), l'11 di agosto è avvenuto il montaggio del concio centrale da 250 tonnellate e 50 metri di lunghezza (figura 12).



12. Fasi di rotazione e sollevamento del concio centrale del ponte sul Canal Grande.



13. Rotazione e sollevamento del concio centrale del ponte durante il montaggio.

Progetto

Arch. Ing. Santiago Calatrava

Responsabile Unico Procedimento

Ing. Salvatore Vento

Direttore Lavori

Ing. Roberto Casarin, Ing. Roberto Scibilia

Collaudo Statico in corso d'opera

Prof. Ing. Enzo Siviero

Impresa costruttrice (General Contractor)

Cignoni srl (Responsabile Cantiere: geom. Luca Greggio; Direttore cantiere: geom. Bruno Cignoni; Direttore Tecnico: geom. Franco Cignoni; Responsabile sicurezza per impresa: Gino Grandi)

Consulenti dell'impresa

Progetto Opere in c.a. e fondazioni

Prof. Ing. Renato Vitaliani, Prof. Ing. Francesco Colleselli

Progetto del montaggio Bolina Ingegneria Srl, Mestre

Direttore del montaggio e del completamento delle strutture d'acciaio

Ing. Giorgio Romaro, Padova

Fornitori struttura metallica

Lorenzon Techmec System S.p.A, Siro Marin,

Officina Metalmeccanica di Inzitari Obenito, Omar Costruzioni, La Fratta Saldature

Trasporto e movimentazione per il montaggio

Fagioli Spa

Cavi provvisori per montaggio

Tensacciai Spa

Sistema di monitoraggio e controllo dei martinetti di testata

4 EMME Service Spa

Le operazioni di varo di quest'ultimo hanno comportato una delicata operazione di rotazione della struttura sulla chiatta (figura 13), resasi necessaria per limitare gli ingombri durante le fasi di navigazione, pena l'impossibilità di effettuare il passaggio al di sotto dei ponti del Canal Grande.

Il grande concio centrale è stato sollevato e ruotato da un carrello modulare semovente multidirezionale imbarcato sulla chiatta utilizzata per il trasporto della struttura del ponte. La struttura è stata quindi temporaneamente appoggiata su sostegni provvisori posizionati nel Canal Grande che sono stati smantellati una volta effettuate le saldature strutturali tra i tre conci.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano porgere il loro ringraziamento a tutte le maestranze che con il loro impegno e la professionalità dimostrata durante tutte le fasi di costruzione hanno consentito la realizzazione di questa difficile opera.

Conclusioni

Il Quarto ponte sul Canal Grande a Venezia rappresenta per varie ragioni una nuova tipologia nell'ambito della tradizione veneziana. Il ponte, che si può considerare separato dal contesto dal punto di vista estetico, è stato concepito come un elemento caratterizzante il paesaggio, concepito per essere ammirato e non per essere attraversato offrendo un nuovo punto di osservazione per i monumenti circostanti.

Il valore del rapporto fra la luce e la freccia del ponte, dato che normalmente caratterizza il comportamento statico di un ponte ad arco, assunto dal progettista, 1/16, implica uno straordinario cimento delle fondazioni e in accordo con i loro eventuali cedimenti orizzontali, può comportare un cambiamento dello schema statico da un arco, ove sono preminenti gli sforzi assiali, ad una trave, dove a primeggiare sono i momenti flettenti.

Per assicurare il comportamento ad arco sono stati quindi inseriti dei martinetti idraulici che permettono, in caso di necessità, di mettere in tiro il ponte. La delicatezza delle fasi di montaggio in un ambiente così difficile come quello veneziano e la tipologia strutturale scelta hanno consigliato la realizzazione di prove di carico prima del varo e la simulazione di tutte le operazioni di movimentazione.

Bibliografia

1. B. Briseghella, E. Siviero, T. Zordan, «The IVth Bridge over the Grand Canal of Venice: from conceptual design to construction», Proceedings of IASS Symposium: Structural Architecture. Towards the future looking to the past, Venezia, 3-6 dicembre 2007.
2. B. Briseghella, E. Siviero, P. Tolaccia, T. Zordan, «Sperimentazione in scala reale sul Quarto Ponte sul Canal Grande a Venezia», Convegno Nazionale Sperimentazione su materiali e strutture, Venezia, 6-7 dicembre 2006.

Diffidate delle imitazioni



L'originale è solo TRAVE REP®



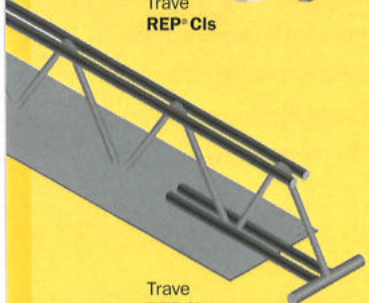
Trave
Rei REP® S



Ponte del Solstizio, Musile di Piave (VE)
realizzato con Travi REP® Nor
in acciaio Corten.



Trave
REP® Cls



Trave
REP® Nor

Una tecnologia originale che affianca la qualità dei sistemi tradizionali ai vantaggi della prefabbricazione. Un'idea studiata, messa alla prova e sfruttata con successo da anni, anche nelle costruzioni in zona sismica.

Solo il sistema **REP®** consente di ottenere una struttura autoportante durante tutta la fase di montaggio della trave e di tutti gli elementi su di essa gravanti, e di realizzare nella fase successiva al getto di riempimento solidificato, una struttura composta acciaio S355J - calcestruzzo.

Sistema **REP®** è conforme alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

REP® è l'alternativa vincente alle travi ed ai solai in calcestruzzo armato, come dimostrano migliaia di realizzazioni e milioni di mq di edifici nel mondo.

I vantaggi del Sistema REP®

- > **Massimo** risparmio di tempo, materiali e manodopera.
- > **Massima** produttività del lavoro in cantiere.
- > **Massima** autoportanza e sicurezza antisismica.
- > **Massima** flessibilità nelle realizzazioni.
- > **Massima** assistenza dall'elaborazione dei calcoli alla messa in opera.
- > **Massima** coerenza con le esigenze di sicurezza dei lavoratori (81/08).

 **Tecnostutture®**
TRAVE rep®

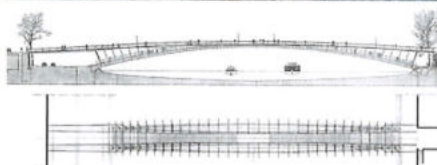
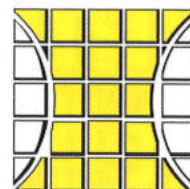
Tecnostutture srl, Via Meucci, 26 - 30020 Noventa di Piave (Ve)
Tel. 0421.570970 - Fax 0421.570998
com@tecnostutturesrl.it - www.tecnostutturesrl.it

Prove di carico su strutture complesse Il caso del quarto ponte sul Canal Grande

Alessandro Turella
Direttore laboratorio autorizzato
a norma della legge 1086/71

Loris Turella
Direttore generale

Veneta Engineering



1a) Millennium Bridge a Londra, opera di Norman Foster e Ove Arup. Sotto: 1b) Passerella Solferino progettata da Marc Mimram.



2. Prove di carico sulla passerella pedonale a nastro teso sul fiume Vltava a Praga-Troja (Straský Hustý & Partners, L = 102 m).



3. Vasche realizzate per l'applicazione del carico. Si può notare la compartimentazione necessaria ad applicare il carico in modo asimmetrico.

Negli ultimi anni la progettazione dei ponti e in particolare quella delle passerelle pedonali ha visto grandi innovazioni, sia formali che tecniche-tecnologiche, e relative all'utilizzo di nuovi materiali (vetro, materiali compositi, pietra ecc).

A conferma di ciò è sicuramente indicativo il fatto che alcuni fra i più grandi nomi dell'architettura mondiale, ad esempio Norman Foster e Santiago Calatrava, si siano spesso cimentati in questo campo, fino a pochi anni fa indiscussa terra di conquista degli ingegneri.

La ricerca di nuove forme strutturali e la possibilità apparente di controllarne il comportamento con l'utilizzo di sofisticati modelli di calcolo ad elementi finiti, ha però determinato l'aumento delle incertezze legate ai non usuali schemi strutturali utilizzati e in alcuni casi il superamento, in esercizio, dei limiti deformabilità e di quelle vibrazionali, con conseguente diminuzione del comfort degli utenti; si ricordano a questo riguardo i celebri casi del Millennium Bridge a Londra e della passerella Solferino a Parigi (figure 1a e 1b).

Spesso le incertezze legate alla modellazione, quali fra le altre le proprietà dei materiali, le rigidità delle fondazioni e degli elementi non strutturali, possano determinare un'apprezzabile differenza fra il comportamento atteso e quello reale. Per diminuire tale differenza può allora venire in aiuto la sperimentazione in scala reale. Tali campagne di prove sperimentali possono diventare in alcuni casi molto complesse e oggetto esse stesse di raffinati progetti, come, fra le altre, nel caso della passerella pedonale multi campata a nastro teso progettata da Jiri Straský, in cui durante la prova di carico statica per raggiungere il carico di progetto sono stati utilizzati mezzi militari (figura 2).

Si illustrano in seguito le prove di carico statiche effettuate sulla passerella pedonale progettata dall'arch. Santiago Calatrava a Venezia e inaugurata nel settembre del 2008. La complessità della geometria della struttura portante e le incertezze legate alla sensibilità dello schema strutturale utilizzato, arco fortemente ribassato, ai cedimenti orizzontali delle fondazioni hanno determinato la scelta di effettuare una estesa campagna di prove sperimentali, fra le quali una prove di carico sulla parte centrale dell'arcata metallica prima del varo, per poter verificare l'effettiva deformabilità del ponte, longitudinale e trasversale, e tarare di conseguenza il modello di calcolo, prove per la determinazione delle tensioni residue, normalmente utilizzate solo in campo meccanico e non civile, e una complessa prova di carico a struttura ultimata, che verrà nel seguito introdotta nel dettaglio.

Il caso del quarto Ponte sul Canal Grande

La progettazione della prova di carico statico effettuata sul quarto ponte sul Canale Grande, avvenuta in stretta collaborazione con il Collaudatore, prof. ing. Enzo Siviero, e l'impresa Cignoni, si è basata sull'esigenza di superare alcune problematiche di tipo tecnico e logistico, fra le quali:

- applicazione del carico di progetto, anche in funzione di limitare l'interferenza con il traffico marittimo nel sottostante Canal Grande;
- applicazione della strumentazione di misura, sia in quanto l'accessibilità limitata delle varie parti del ponte ha comportato l'utilizzo di operatori esperti in alpinismo, che per problemi legati alle letture topografiche e alla corretta applicazione e protezione degli strain-gauges.

Dispositivi di carico

Fra le varie possibilità valutate si citano l'applicazione del carico da sotto il ponte con l'utilizzo di martinetti posti su una chiatta sul Canal grande e dall'altra la possibilità di agire dall'alto con il carico applicato direttamente sulla struttura del ponte. La prima soluzione avrebbe sicuramente avuto il vantaggio della velocità di realizzazione delle varie configurazioni di carico (simmetrica e le due asimmetriche) previste visto l'utilizzo di martinetti, ma d'altra parte gli svantaggi di occupare a lungo il canal grande interrompendo il traffico e la difficoltà di realizzare sulla chiatta il contrasto necessario ad applicare il carico. Alla fine si è scelto quindi di realizzare sul ponte (a struttura portante ultimata e prima della realizzazione delle finiture) quattro vasche (figure 3 e 4) ciascuna di dimensioni in pianta nette di 3,55x15,85 m (circa 56 mq) e altezza $h=1,20$ m da riempire con un tirante d'acqua (riempito attingendo l'acqua necessaria dal sottostante canale) massimo di circa 1,10 m, disposte nella parte centrale del ponte per complessivi 225 mq circa e 260 mc di volume massimo e di utilizzare inoltre quattro martinetti idraulici predisposti a tiro di portata ≥ 120 kN/cadauno vincolati alle pile provvisorie utilizzate per il montaggio del ponte. Sono state quindi considerate tre condizioni di carico per simulare le situazioni di massima deformabilità longitudinale e trasversale di progetto:

1. Carico simmetrico

- martinetti: si sono utilizzati 2+2 martinetti da 12 t/cad agganciati alle estremità delle costole superiori nelle sezioni R22 ed R22'.
- vasche: si è utilizzato un tirante d'acqua di 110 cm su tutte le vasche.

2. Carico asimmetrico longitudinale

- martinetti: Si sono utilizzati due martinetti da 12 t/cad agganciati alle estremità delle costole superiori nella sezione R22 e 2 martinetti da 3 t/cad agganciati alle estremità delle costole superiori nella sezione R22'.
- vasche: si è utilizzato un tirante d'acqua di 110 cm per le due vasche lato piazzale Roma e un tirante d'acqua di 50 cm per le due vasche lato stazione ferroviaria.

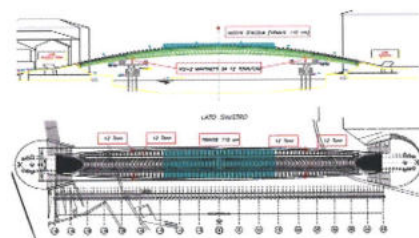
3. Carico asimmetrico trasversale (massima torsione)

- martinetti: si sono utilizzati due martinetti da 12 t/cad agganciati all'estremità DX delle costole superiori nelle sezioni R22 e R22' e due martinetti da 3 t/cad agganciati all'estremità sx delle costole superiori nelle sezioni R22 e R22'.
- vasche: si è utilizzato un tirante d'acqua di 110 cm per le due vasche nel lato dx e un tirante d'acqua di 50 cm per le due vasche nel lato sx.

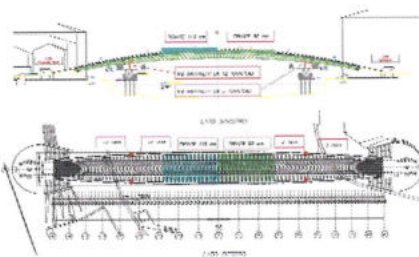
Nella tabella 1 si riportano i massimi carichi considerati in fase di progetto dell'opera e i massimi carichi impressi durante la prova di collaudo del ponte (valori rilevati dal modello di calcolo), da cui si può dedurre come si sia raggiunto durante la prova di carico quasi 80% dei carichi considerati dal progettista (che aveva ipotizzato un carico da folla di $q = 6.00$ kN/m²) e il 90% dei carichi considerando di applicare un carico da folla di $q = 4.00$ kN/m², come previsto dalla normativa allora vigente.



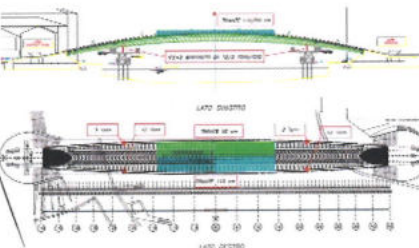
4. Viste d'insieme delle vasche realizzate per l'applicazione del carico.



5. Condizione di carico 1 (carico simmetrico).



6. Condizione di carico 2 (carico asimmetrico longitudinale).



7. Condizione di carico 3 (carico asimmetrico trasversale).

Tabella 1. Carichi massimi considerati in fase di progetto e applicati durante la prova di carico.

	Peso proprio struttura [kN]	Finiture (soletta cls, pietre, vetri, corrimano) [kN]	Carico accidentale (Folla) [kN]	Totali [kN]
Carico progetto ($q = 4.00 \text{ kN/mq}$)	4124	2280	2654	9058
Carico progetto ($q = 6.00 \text{ kN/mq}$)	4124	2280	3982	10386
Prova di carico	4124	791	/	8134

Dispositivi di misura

Durante i vari step di carico sono stati misurati con livellazione topografica (ottica e trigonometrica) dal personale della Veneta Engineering e da quello dello IUAV coordinato dal prof. Guerra, gli spostamenti di 19 punti significativi della struttura posti in corrispondenza di 7 sezioni trasversali del ponte (figure 8-10).

a) Livellazione ottica

Sono state messe in opera due diverse stazioni di lettura per rilevare gli abbassamenti dei due diversi lati del ponte. Le stazioni sono state installate su degli impalcati rigidi costruiti *ad hoc* ai lati della spalla dal lato di piazzale Roma. Ogni stazione aveva un riferimento topografico esterno costituito da un ulteriore punto di lettura indipendente dalla struttura in modo da rilevare eventuali spostamenti della stazione stessa. Data la caratteristica forma della struttura ogni stadia è stata dotata di una staffa studiata su misura per adattarsi alla struttura e rimanere rigidamente solidale ad essa. Ogni costola oggetto di misura è stata dotata di tre stadie (due solidali con le arcate esterne e una solidale con l'arcata centrale) eccetto le R37, R22, R22' ed R37' a causa della presenza delle pile provvisorie che ne rendevano impossibile l'installazione e la lettura.

b) Livellazione trigonometrica

Anche per la rilevazione topografica trigonometrica sono state allestite due stazioni di misura indipendenti. La prima stazione è stata posta sull'incrocio delle due fondamenta della Crosa e Papadopoli prospiciente al giardino omonimo e leggeva i punti identificati con il colore rosso e con i numeri 2-4-6-8-10-12 per l'arcata superiore lato Venezia e con i numeri 13-14-15-16-17 per l'arcata centrale. La seconda invece era situata sul lato di piazzale Roma in fondamenta Santa Chiara, nel primo punto utile dopo la fine dei pontili di imbarco dei mezzi ACTV e leggeva i punti identificati in figura dal colore blu e con i numeri da 18 a 23 per l'arcata superiore lato laguna.

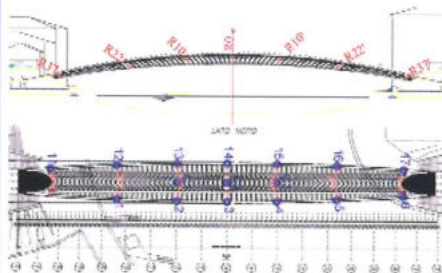
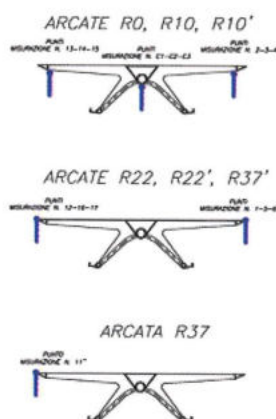
La livellazione trigonometrica è stata scelta quale metodo di controllo dell'abbassamento dei punti monitorati in quanto si presenta come un sistema di misura completamente indipendente da quelli predisposti dagli altri gruppi di lavoro.

È quindi possibile confrontare i risultati avendo la certezza che non vi sia nessuna correlazione con quanto ottenuto per altra via. Inoltre la posizione dei punti da misurare non permetteva nessun altro metodo di rilievo.

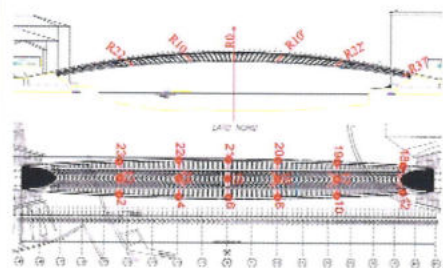
La breve distanza tra i punti ha fatto sì che siano intervenuti errori dovuti alla rifrazione atmosferica che sono quelli che più potevano compromettere la precisione di questo metodo. Le distanze tra il punto di stazione e i punti da controllare sono state misurate con distanziometro elettronico integrato nella stazione totale. Si ricorda che un piccolo errore nella misura di distanza influisce sulla determinazione dei dislivelli, ma non sulla loro variazione.

Applicando questo metodo, se le distanze tra i punti sono dell'ordine di qualche decina di metri, si possono determinare le variazioni di dislivello tra punti con una approssimazione inferiore al millimetro.

I punti da misurare sono stati monitorati con apposite mire catarifrangenti allo scopo di ottimizzare sia la collimazione che la precisione del distanziometro. Al fine di assicurare l'efficienza del metodo sono state preventivamente svolte due verifiche.



8. Posizione delle stazioni di lettura della livellazione ottica.



9. Posizione delle stazioni di lettura della livellazione trigonometrica.

Fase 1. Simulazione

In primo luogo è stato calcolato lo SQM (scarto quadratico medio) della coordinata Z dei punti applicando la legge di propagazione della varianza a partire dalle incertezze strumentali dichiarate dal costruttore degli strumenti. Lo SQM del punto centrale dell'arcata del lato est, con l'impiego dello strumento Leica TCA 2003, è risultato nella simulazione di circa ± 0.0002 mm. Il punto centrale sul lato ovest del ponte, dove è stato previsto l'impiego di due Leica TCR 1103, ha avuto in simulazione uno SQM di ± 0.0007 mm.

Fase 2. Verifica sperimentale in laboratorio

In base ai risultati della simulazione teorica, si è verificato in laboratorio il reale comportamento del metodo di misura andando a rilevare un target fissato su una slitta di precisione, da un punto di stazione posto a distanza pari a quella tra il punto di stazione reale e il punto in mezzzeria sull'arco del ponte. Al target sulla slitta sono stati imposti degli abbassamenti controllati che sono stati quindi rilevati mediante livellazione trigonometrica.

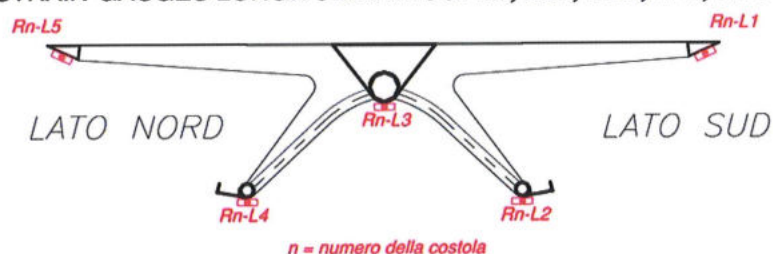
Le differenze tra abbassamenti imposti e abbassamenti misurati si sono dimostrate trascurabili, confermando sperimentalmente l'applicabilità al caso reale del metodo di misura. Si è quindi proceduto al rilievo in campagna durante le prove di carico relative al collaudo. Si può ragionevolmente affermare che gli abbassamenti rilevati per livellazione trigonometrica hanno avuto mediamente un'incertezza di 0.001 mm, quindi ben al di sotto dei valori significativi dal punto di vista ingegneristico. Oltre al controllo deformativi dell'impalcato, sono stati monitorati gli stati tensionali durante i vari step di carico, con alcuni strain-gauges, a cui è stato anche depurati gli effetti dovuti alle variazioni di temperatura. Per ogni sezione strumentata (R22 – R10 – R0 – R10' – R22'), sono stati posizionati 8 strain gauges per un totale di 40. Nella figura 11 si riporta a titolo di esempio la posizione degli strain gauges longitudinali. Viste le particolari condizioni di esecuzione delle prove di collaudo in fase di progettazione del sistema di acquisizione si sono dovute prendere in considerazione svariate problematiche:

a) la lunghezza del ponte (circa 80 metri) ha implicato uno studio approfondito del migliore cablaggio. Si è adottato un collegamento a sei fili (con due fili in parallelo all'alimentazione e collegati ad un voltmetro in modo da monitorare con precisione la tensione di alimentazione conoscendo le diverse cadute di tensione presenti nel sistema. Nella peggiore delle condizioni, infatti, ci si sarebbe trovati di fronte ad avere un centinaio di metri di filo fra la centralina di acquisizione e condizionamento e l'estensimetro).



10. Stadie utilizzate per la livellazione topografica.

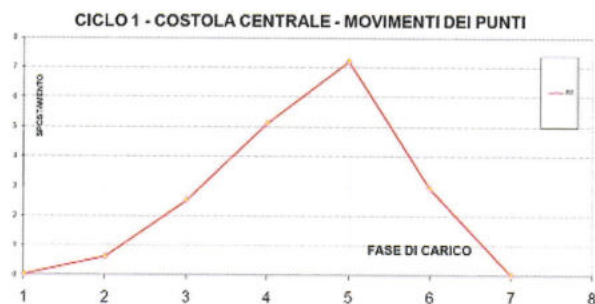
STRAIN-GAUGES LONGITUDINALI SU: R0, R10, R10', R22, R22'



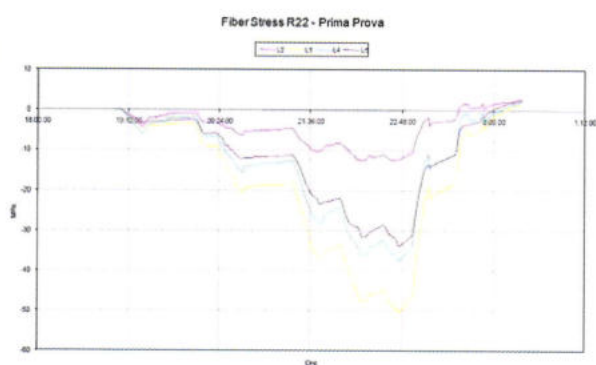
11. Schema di posizionamento degli strain-gauges longitudinali.



12. Operatori all'opera per l'installazione dei strain-gauges e sensori applicati.



13. Deformazioni misurate con il metodo topografico nella sezione R0. Condizione di carico simmetrica (carico massimo di collaudo).



14. Stati tensionali misurati dagli strain-gauges longitudinali applicati nella sezione R22 durante la prova di carico. Condizione di carico simmetrica (carico massimo di collaudo).

b) La durata della prova: nel corso dei tre giorni l'escursione termica sarebbe stata notevole (almeno 10°C), e doveva essere monitorata e debitamente compensata. A tal riguardo si è optato per una configurazione a mezzo ponte (coppia di estensimetri in serie orientati in direzioni perfettamente ortogonali). Inoltre vista la variabilità del tempo e le possibili difficoltà provocate da probabili piogge, si è dovuto valutare un sistema di protezione dall'acqua ma compatibile ai molto ristretti tempi di applicazione. Tutta la strumentazione è stata montata a ponte varato e con l'ovvia impossibilità di chiudere il Canal Grande per accedere all'intradosso con elevatori montati su chiatte, sono state quindi affrontate grandi difficoltà di carattere logistico nella cablatura e nella applicazione degli strain-gauges. Essa è stata eseguita, infatti, nella sua totalità da operatori imbragati e messi in sicurezza mediante tecniche alpinistiche (figura 12) e complessivamente sono stati stesi circa 2 chilometri di cavi.

Risultati della prova

Durante le tre prove di carico la strumentazione utilizzata ha dimostrato un buon comportamento e la corretta progettazione e messa in opera pur nelle avverse condizioni ambientali (pioggia intensa), che avrebbero potuto inficiare le misure ottenute per via topografica e mettere in crisi gli strain-gauges. Si riportano ad esempio (figure 13 e 14) le deformazioni misurate con il metodo topografico nella sezione R0 (sezione di mezzeria del ponte) e i valori tensionali misurati dagli strain-gauges longitudinali applicati alla sezione R22 (sezione vicina alle spalle, vedi figura 8).

3. Conclusioni

Il caso della campagna di prove sperimentali sul quarto ponte sul Canal Grande mette in evidenza le difficoltà legate a prove di carico su scala reale di strutture di tipo non convenzionale. In questo caso l'esigenza di lavorare dall'alto interferendo il meno possibile con il traffico marittimo del canal grande e di verificare l'effettivo comportamento strutturale di un ponte caratterizzato da uno schema di arco fortemente ribassato e con una bassa rigidità torsionale, hanno comportato la scelta di utilizzare delle grandi vasche riempite direttamente con acqua pompata dal sottostante canale.

Di grande importanza e impegno anche per la sicurezza degli operatori si sono dimostrati gli aspetti legati all'installazione della strumentazione per la misura degli stati tensionali e deformativi. La scelta di effettuare le misure topografiche con più metodi e diversi operatori, oltre che la fase di simulazione e successiva verifica in laboratorio, ha garantito la correttezza dei dati ottenuti. La difficoltà della logistica e la particolarità dell'opera hanno determinato l'esigenza di procedere con prove di carico molto complesse e confermano la necessità di prevedere in questi casi, già in fase di stesura del capitolato speciale d'appalto, campagne di prove sperimentali molto approfondite, come d'altronde è confermato da casi analoghi a livello internazionale dove mediamente si considera un budget per le prove superiore al 1% del costo dell'opera. •

Soluzioni di Durabilità



CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC	Corrosione delle armature indotta da carbonatazione del calcestruzzo
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XD	Corrosione delle armature indotta dai cloruri
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XS	Corrosione delle armature indotta dai cloruri dell'acqua di mare
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XA	Attacco chimico
CLASSE DI ESPOSIZIONE	XF	Attacco dei cicli gelo/disgelo



**Calcestruzzi
Italcementi Group**

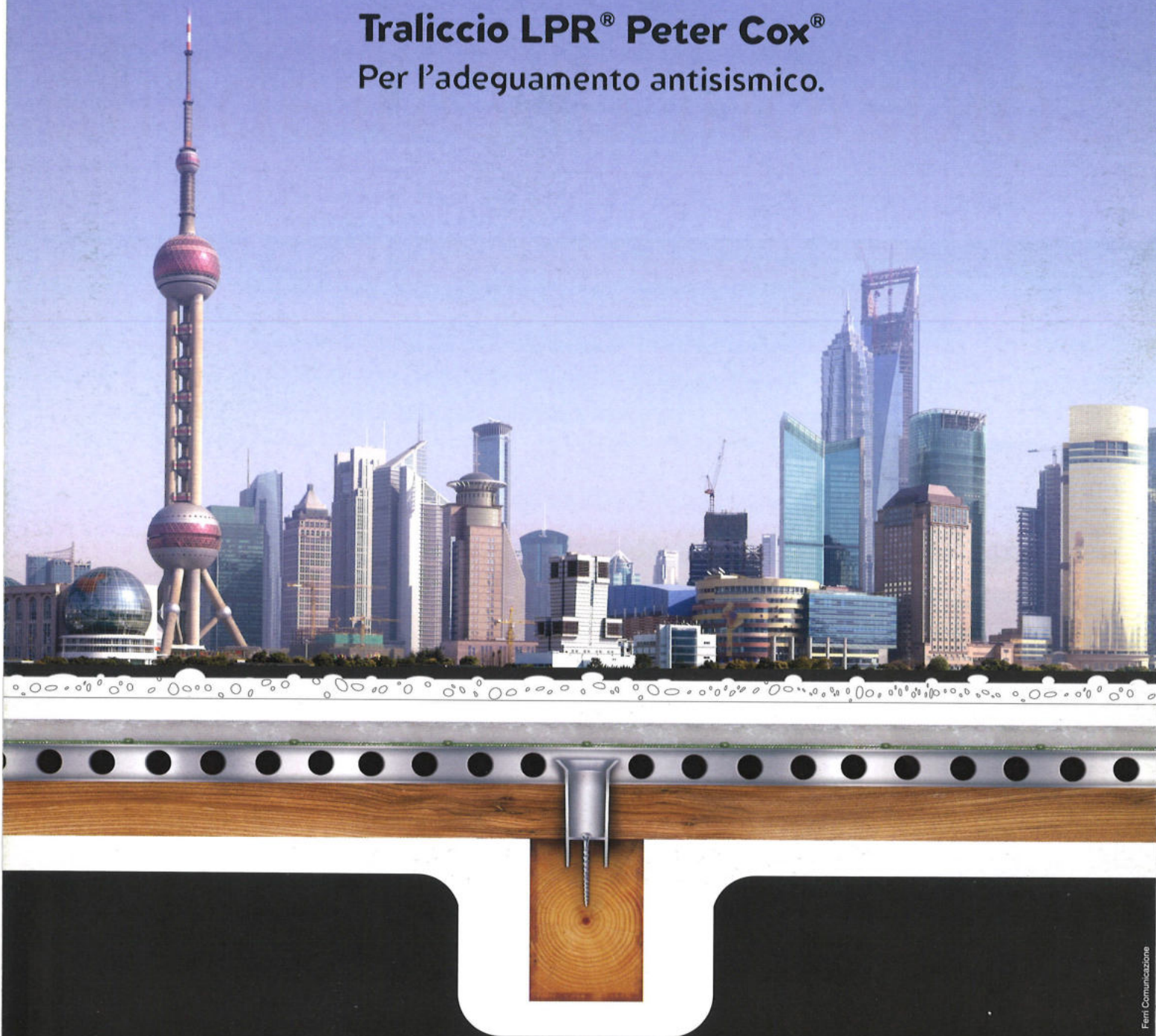
A world class local business

Direzione di zona Veneto
Via Pierobon, 1
35010 Limena (PD)
Tel. 049 8840644
Fax 049 768522

www.calcestruzzi.it

Traliccio LPR® Peter Cox®

Per l'adeguamento antisismico.



Sistema Traliccio LPR®



Una grande tecnologia per solai di legno vecchi e nuovi.

Il sistema Traliccio LPR® e Connettore FLAP® ripristina il tuo vecchio solaio di legno e ottimizza le prestazioni del nuovo. Il brevetto assicura la perfetta connessione tra la soletta in calcestruzzo e la sottostante struttura lignea, con deformazioni contenute entro 1/500 della luce. Il sistema è in linea con le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.



Verona
tel 045 8303013
Milano
tel 02 730675
Roma
tel 06 6869326

www.petercoxitalia.it



PETER COX
TECNOLOGIE PER IL RECUPERO EDILIZIO